

ZUR WIRKUNG SCHWACHER NIEDERFREQUENTER
ELEKTRISCHER UND MAGNETISCHER FELDER
AUF DIE MOTORISCHE AKTIVITÄT
VON MÄUSEN

THOMAS G. R. LINTZEN

1985

*Das
München*



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554812_0020

Aus dem Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie
der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. H. Drexel

ZUR WIRKUNG SCHWACHER, NIEDERFREQUENTER
ELEKTRISCHER UND MAGNETISCHER FELDER
AUF DIE MOTORISCHE AKTIVITÄT VON MÄUSEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Thomas G. R. Lintzen

aus
München

1985

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität München

Berichterstatter : Prof. Dr. med. H. Drexel
Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. W. Schnizer
Dekan : Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 7. Juni 1985

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK

- 1.1 Problemstellung
- 1.2 Literatur zum Stand der Forschung - Begründung für die Wahl der untersuchten Feldparameter
- 1.3 Definition und Wahl der Meßgröße Motilität

2. DARSTELLUNG VON MOTILITÄTSMESSAPARATUR UND VERSUCHSAUFBAUTEN

- 2.1 Beschreibung der Meßanlage
- 2.2 Funktionsprüfung der Meßanlage und Methodenvergleich
- 2.3 Apparaturen zur Erzeugung der elektrischen Felder
- 2.4 Apparaturen zur Erzeugung der Magnetfelder
- 2.5 Käfige, Versuchstiere und ihre Haltung

3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE

- 3.1 Versuchsnebenbedingungen
- 3.2 Versuchs- und Auswerteschema
- 3.3 Vorversuche zur Bestimmung der Empfindlichkeit der Methode
 - 3.3.1 Temperaturversuche
 - 3.3.2 Tranquillantienversuche mit Diazepam
- 3.4 Hauptversuche
 - 3.4.1 Einfluß sinusförmiger, elektrischer Felder
 - 3.4.1.1 50 Hz, 1,5 kV/m
 - 3.4.1.2 10 kHz, 40 V/m
 - 3.4.1.3 28 kHz, 40 V/m
 - 3.4.1.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der drei elektrischen Wechselfeldversuche

- 3.4.2 Einfluß magnetischer Wechselfelder
- 3.4.2.1 Sinusförmiges 50 Hz, 1 mT Magnetfeld
- 3.4.2.1.1 Erster Wiederholversuch zur Wirkung des 50 Hz, 1 mT Feldes
- 3.4.2.1.2 Zweiter Wiederholversuch zur Wirkung des 50 Hz, 1 mT Feldes
- 3.4.2.1.3 Sinusförmiges 50 Hz, 2,2 mT Magnetfeld
- 3.4.2.2 Sinusförmiges 10 kHz, 1 mT Magnetfeld
- 3.4.2.3 Sinusförmiges 28 kHz, 0,05 mT Magnetfeld
- 3.4.2.4 Gleichgerichtetes 50 Hz Magnetfeld (Halbwelle)
- 3.4.2.4.1 Erster Wiederholversuch zur Wirkung des gleichgerichteten 50 Hz Magnetfeldes (Halbwelle)

4. DISKUSSION

5. ZUSAMMENFASSUNG

6. LITERATURVERZEICHNIS

In dieser Arbeit häufig verwendete Abkürzungen:

VS Versuchsserie

K Käfig

$\Delta\%$ prozentuale Differenz der Gesamtmittelwerte

IMBK Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie

* $p \leq 0,05$

** $p \leq 0,01$

*** $p \leq 0,001$

1. EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK

1.1 Problemstellung

Neben den klassischen Elementen des Mikro- und Makroklimas: Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftdruck werden seit ihrer Entdeckung auch luftelektrische Größen als biologisch wirksam diskutiert. Unter dem Begriff 'Luftelektrizität' ordnen sich die folgenden, sehr verschiedenen Größen, als hypothetische, biotrope Faktoren des Klimas ein:

- Elektrische Gleichfelder
- Elektromagnetische Wellen ('Sferics' und 'Technics')
- Zeitkonstante und zeitvariable Magnetfelder
- Luftionen und
- Der elektrische Vertikalstrom.

Diesen physikalisch verschiedenen Einzelgrößen ist gemeinsam, daß sich bis heute in der Literatur keine auf breiter, wissenschaftlicher Basis akzeptierte Beurteilung ihrer biologischen Wirksamkeit und Bedeutung herauskristalisiert hat. Einen Beitrag zur Klärung dieses widersprüchlichen Bildes zu leisten, ist das Ziel eines seit 1974 am IMBK betriebenen Forschungsvorhabens.

Die sich mir innerhalb dieser Arbeitsrichtung stellende Teilaufgabe bestand darin, durch Messung der apparativ objektivierten motorischen Aktivität von Albinomäusen den fraglichen Einfluß von niederfrequenten, schwachen elektrischen und magnetischen Feldern in Langzeitversuchen zu untersuchen.

Die Erfassung der motorischen Aktivität stellt eine integrale Größe zur Kennzeichnung des biologischen Versuchstier-Zustandes dar.

Auf Grund früherer Experimente am IMBK, bei denen gleichfalls die Motorik von Versuchstieren gemessen wurde, konnte erwartet werden, daß die angewandte Methode gut reproduzierbare Ergebnisse mit hoher Empfindlichkeit liefern würde.

Die durchgeführten Versuche stellen einen tierexperimentellen Beitrag zur Beurteilung der biologisch/medizinischen Wertigkeit von technisch bedingten Feldern dar, wie sie in den heutigen Wohn- und Arbeitsbereichen auftreten bzw. zu Heilzwecken propagiert werden.

Meine Hauptaufgaben bestanden darin, die felderzeugenden Versuchsaufbauten zu entwickeln und den experimentellen Teil der Untersuchungen, sowie die Auswertungen durchzuführen.

1.2 Literatur zum Stand der Forschung. Begründung für die Wahl der untersuchten Feldparameter

Es sind sehr zahlreiche Arbeiten über die Wirkung natürlicher und technisch erzeugter elektromagnetischer Felder auf Lebewesen erschienen. SHEPPARD und EISENBUD (50) haben ca. 300 Veröffentlichungen ausgewertet und die Ergebnisse in einer Übersichtsarbeit zusammengestellt: Zahlreiche Autoren finden im Experiment Wirkungen der Felder auf biologische Funktionen; gleichviele Untersucher gelangen zu negativen Ergebnissen. Eine kritische Übersicht aus jüngster Zeit findet sich im EPRI-Report (20) und bei SCHÄFER (49).

Arbeiten, die technisch bedingte und natürliche Feldparameter der Umwelt beschreiben, leiten die als wesentlich angesehenen Veröffentlichungen ein. Bestimmte Bereiche des dort beschriebenen Spektrums wurden der Arbeit zu Grunde gelegt und auf ihre fragliche Biotropie untersucht. Es folgen einige Publikationen, deren Versuchspläne, Ergebnisse und Deutungen den eigenen experimentellen Ansatz mitbeeinflusst haben.

REITER (44) nahm eine Bestandsaufnahme der luftelektrischen Parameter im Inneren von Gebäuden in Abhängigkeit von deren Bauweise, elektrischer Einrichtung, Belüftung etc. vor. Fragen aus der Öffentlichkeit hatten diese Untersuchungen in Gang gesetzt. REITER führte detaillierte Messungen an Leuchtstoffröhre, Computer, Glühfadenlampe, Fernsehgerät, Energieversorgungsleitung und anderen elektrotechnischen Einrichtungen durch (45). 450 Frequenzspektren aus Wohn- und Arbeitsbereichen wiesen breitbandige Energieverteil-

teilungen bis 100 kHz nach. Die Feldstärken der Oberwellen lagen in der Größenordnung von ~ 30 V/m. Für die Frage der Biotropie elektromagnetischer Felder bedeutet dies, daß sich Untersuchungen nicht nur auf die Wirksamkeit der Grundfrequenz von 50 (oder 60 Hz) beschränken dürfen, sondern, daß der gesamte Frequenzbereich bis ca. 100 kHz auf seine biologischen Wirkungen zu prüfen ist (46).

Die Frequenzen 10 und 28 kHz haben auf dem Gebiet der Makro-Klimatologie durch die Veröffentlichungen von BAUMER und EICHMEIER an Interesse gewonnen. Ihren Arbeiten liegt die Beobachtung einer zeitlichen Variabilität der Diffusionsgeschwindigkeit T_D (-20 bis $+110\%$) von FeCl_3 -Ionen durch Photogelatinemembranen zugrunde (6). Dieser Vorgang spielt eine wesentliche Rolle bei der Formherstellung von Druckzylindern für das Tiefdruckverfahren. Bedingt durch die hohe Streuung von T_D kam es zu Produktionsausfällen, die hohe Kosten verursachten. Die Regelung der raumklimatischen Faktoren Lufttemperatur ($20,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$) und relative Luftfeuchte ($55 \pm 1,5\%$), sowie die Abschirmung mit einem Faraday-Käfig konnten die Streuung nicht befriedigend verbessern; Keines der klassischen Klimaelemente (mit Ausnahme der absoluten Feuchte im Freien) korrelierte mit den gemessenen Schwankungen von T_D .

Zur weiteren Ursachenerforschung bauten die Autoren 1980 ein Meßsystem zur Registrierung von Sferics und verglichen die aufgenommenen Daten mit der Diffusionsgeschwindigkeit T_D (7).

Dabei fanden sie tendenziell:

- eine Verlangsamung von T_D bei hohen Impulsraten im 10 kHz (S_{10}) Band
- umgekehrt eine Beschleunigung bei hoher Impulszahl im 28 kHz (S_{28}) Bereich

- eine hohe Korrelation ($r=0,75$) zwischen dem Gang von T_D und der Differenz $\Delta S = S_{10} - S_{28}$ der mittleren täglichen Impulsraten bei der Bänder und
- einen plötzlichen, schnellen Abfall von T_D , wenn höchste Intensitäten bei 28 kHz registriert wurden.

BAUMER und EICHMEIER zogen daraus den Schluß, daß die gemessene Wellenstrahlung die Eigenschaften der Photogelatine, und damit die Diffusionsgeschwindigkeit, frequenzabhängig und antagonistisch direkt beeinflusste (8, 9).

In der Arbeit von 1981 (10) wurden Zusammenhänge zwischen der Dynamik troposphärischer Wettervorgänge und den Sferics beschrieben. Charakteristische Muster an Strahlung wurden bei vorwiegend horizontalen Luftmassenbewegungen, die mit einer Verlängerung von T_D einhergingen, gefunden (niedrige Quellung und kleine Poren des Gelatinefilms bei schlechter Diffusion). Mit zunehmendem Labilisierungsgrad nahm die Impulsrate im 28 kHz Band zu. Gleichzeitig war T_D beschleunigt (hohe Quellung der Gelatine, große Porenöffnungen und gutes Diffusionsverhalten).

In ihrer Arbeit von 1982 (11) analysierten die Autoren das Frequenzspektrum der zwischen 3 Hz und 100 kHz empfangenen Sferics. In über 35 000 Einzelanalysen fanden sich schmalbandige Frequenzschwerpunkte bei 4, 6, 8, 10 und 12 kHz, ferner im Bereich zwischen 27 und 29 kHz sowie bei 50 kHz. Diese spektralen Maxima decken sich mit Bereichen, für die andere Autoren, wie z.B. REITER (43), gleichfalls Energiemaxima gefunden haben.

Bei KÖNIG et al, (26) finden sich Angaben über die Größenordnung der elektrischen und magnetischen Komponenten von Sferics, Bei 10 kHz betragen diese ca. 10^{-5} V/m bzw. 10^{-11} mT. Für Sferics von 28 kHz werden ca. 10^{-4} V/m bzw. 10^{-11} mT angegeben.

RUHENSTROHT-BAUER et al. (48) führten eine Untersuchung des korrelativen Verhaltens von epileptischen Anfällen und Tagesdichtemitteln von Sferic-Registrierungen bei 10 und 28 kHz durch. Dazu registrierte ein Kollektiv von sechs Epileptikern während sieben Monaten die Tage, an denen Anfälle auftraten. Dieser Anfallskalender wurde mit den Sferic-Daten korreliert. Der Spearmannsche Rangkorrelationskoeffizient betrug bei dem Gesamtkollektiv hinsichtlich der 28 kHz Impulse + 0,3. Gegenüber den 10 kHz Impulsen bestand eine negative Korrelation von - 0,2. Beide Werte waren statistisch signifikant. Es wurde nicht geprüft, ob bei den korrelierten Beobachtungseinheiten ein jährlicher Gang besteht.

DIRNAGL (16) verglich Befindensschwankungen eines Kollektivs von 2000 täglich befragten Personen mit den durch Temperatur, Feuchte und Luftdruck charakterisierten Wettervorgängen. Diese Größen lieferten ebenfalls signifikante Koinzidenzen. Es gelang, ungefähr die Hälfte der interdiurnen Varianz des Beschwerdeindex durch eine lineare Regression zu den genannten drei Kenngrößen der bodennahen meteorologischen Elemente darzustellen. Die beste Bezugsgröße zur kollektiven Befindensschwankung war die morgendliche Lufttemperatur, die als Differenz $T_{\min}$ zu einem gewichteten Mittel der Morgentemperaturen von sieben vorausgegangenen Tagen in die Regressionsrechnung einging.

Aus DIRNAGLs Arbeitsergebnissen ist der Schluß zu ziehen, daß die sogenannten trivialen meteorologischen Elemente gute Korrelationen mit biologischen Vorgängen liefern. Diese sind sogar strenger als die Korrelationen, die sich nach den Wetterklassifikationen nach UNGEHEUER-BREZOWSKY ergeben (53, 13).

Die vorausgehenden Arbeiten zeigen, daß die Sferics offenbar ebenso gut wie andere Wetterelemente mit biologischen Ereignissen korrelieren. "Die Frage nach jenem Agens der Atmosphäre, das letzten Endes die erörterten Wirkungen hervorruft <und die Ursache der vorgefundenen Korrelationen ist>* hat die Meteorobiologie stets als ein zentrales Problem empfunden...", schrieb de RUDDER 1952 in seinem "Grundriß einer Meteorobiologie des Menschen" (14).

Die vorliegende Arbeit beabsichtigt u.a. - anknüpfend an diese bislang ungelöste Fragestellung der Biometeorologie - einen Beitrag zur fraglichen kausalen, biologischen Wirkung der Sferics zu liefern.

Indem künstlich erzeugte elektromagnetische Felder, die in ihren Kenngrößen: Frequenz und Intensität den Sferics nachgebildet und im Tierexperiment appliziert wurden, sollten sich Hinweise für eine Einordnung der Sferics in die Rubriken: Indikatorelement (nach REITER u.a.) oder biotroper Faktor (nach BAUMER, EICHMEIER u.a.) ergeben.

Es ist jedoch auf Unterschiede (Impulsform, Impulsfolge etc.) zwischen den in diesen Versuchen applizierten Feldern und den natürlich vorkommenden Sferics hinzuweisen. Die abschließende Beurteilung der Sferic-Wirkung wird erst möglich, wenn es gelingt, unter Laborbedingungen elektromagnetische Wellen zu erzeugen, die in ihren Eigenschaften den natürlichen Sferics weitgehend gleichen.

Erste Grundlagenforschungen, mit dem Ziel eines biologischen Wirkungsnachweises von elektromagnetischen Feldern, stellen die tierexperimentellen Arbeiten von ALTMANN dar (1). Er konnte feststel-

len, daß Bienen, deren Wabenkörbe in einem Feld von 6 kV/m und 50 Hz aufgestellt wurden, bereits wenige Sekunden nach Einschalten des Feldes auffallend große Unruhe und Aggressivität zeigten. Um dem Feldeinfluß zu entgehen, verklebten die Bienen die Fluglöcher und gingen infolgedessen an Sauerstoffmangel und Hitzeentwicklung zugrunde.

Diese Ergebnisse sind später von WARNKE im Sinne einer sekundären Feldwirkung gedeutet worden (32). Er beobachtete Vibrationen des Chitinpanzers der Insekten durch den Feldeinfluß, die offensichtlich von den Tieren als mechanischer Streß empfunden wurden.

In weiteren Versuchen untersuchten ALTMANN und LANG (2) das Revierverhalten von Albinomäusen, die ihren Aufenthaltsort in bis auf die elektrischen Verhältnisse identischen und mit einem Röhrensystem verbundenen Käfigen frei wählen konnten. Die Tiere bevorzugten für die Nestanlage den Käfig mit Faraday-Bedingungen. Den Tummelplatz wählten sie meist im Bereich eines Rechteckimpulsfeldes (10 Hz, 3500 V/m) und seltener im elektrischen Gleichfeld (3500 V/m). Die Nester wurden meist unter normalen elektro-klimatischen Bedingungen gebaut, wenn alternativ Faraday-Bedingungen oder Rechteckimpulsfeld-Bedingungen angeboten wurden.

LANG (34) untersuchte Änderungen des Wasser- und Elektrolythaushaltes bei weißen Mäusen unter Faraday-Bedingungen und dem Einfluß eines Rechteckimpulsfeldes der Frequenz 10 Hz. Nach einem 14tägigen Aufenthalt im Faraday-Käfig war die Sauerstoffaufnahme der Tiere im Vergleich zu einer Kontrollgruppe reduziert; infolgedessen wurde eine Erniedrigung des Sauerstoff-Partialdruckes im Blut festgestellt. Der interstitielle Wassergehalt, sowie der

Na-Spiegel im Blut waren erhöht, während gleichzeitig eine Hypokaliämie bestand.

Wurde dem feld-freien Käfig ein 10 Hz Rechteckimpulsfeld zugeschaltet, so normalisierten sich die Verschiebungen im Wasser- und Elektrolythaushalt.

ALTMANN und WARNKE (3) beschrieben in einer weiteren Arbeit eine zeitlich begrenzte Erhöhung der motorischen Aktivität von Albinomäusen bei Einwirkung eines elektrischen 50 Hz Feldes von 500 kV/m. Dieser Effekt beruhte jedoch wahrscheinlich auf sekundären Feldwirkungen, da Verhaltensmerkmale wie Kratzen von Fellpartien, Zukneifen der Augen etc. beobachtet wurden. Dies läßt auf eine mechanische, spürbare Stimulierung des Felles und der Barthaare durch elektrische Kräfte, die auf Ladungen der Haare einwirkten, schließen.

SCHAEFER (49) geht auf sekundäre Feldwirkungen ein, die als Fehlerquellen auftreten können. Er weist auf Vibrationen des Versuchsaufbaus, sogenannte Minischocks und elektrostatisch induzierte Vibrationen der Haare hin, die Einflüsse von elektrischen Feldern vortäuschen können. Haarvibrationen, die von Versuchspersonen gespürt werden, treten z.B. bei 50 Hz ab 2 kV/m auf.

MÖSE und FISCHER (39) berichteten von Wirkungen elektrischer Gleichfelder, die mit einer Feldstärke von 24 kV/m bei Mäusen appliziert wurden. Sie konnten eine Steigerung der Laufaktivität um ca. 55%, sowie eine Zunahme des Futter- und Wasserverbrauchs feststellen. Bei diesen Beobachtungen sind jedoch sekundäre Feldwirkungen nicht sicher auszuschließen.

In einer weiteren Arbeit verglichen MÖSE et al. (40) immunbiologische Reaktionen von Tieren, die einem elektrostatischen Feld ausgesetzt waren, mit solchen, die unter Faraday-Bedingungen gehalten wurden. Eine Vorsensibilisierung beider Gruppen geschah mit Hammelerythrozyten. Der Immunisierungsgrad wurde mittels direkter Plaque-Technik bestimmt.

Bei der Wirkgruppe traten bei Feldstärken zwischen 1 und 5 kV/m die höchsten Plaque-Werte auf. Aber auch bei 200 V/m konnte ein Anstieg der Immunaktivität im Vergleich zur Kontrolle gefunden werden. Die Autoren leiteten aus ihren Untersuchungen eine Bedeutung des natürlichen elektrischen Gleichfeldes für das Immunsystem ab.

JACOBI und KRÜSKEMPER (22, 23, 24) untersuchten die Adhäsivität humaner Thrombozyten bei Applikation von Rechteck-Impulsen zwischen 2 und 20 Hz (Feldstärke: 400 mV/m) und im Elektro-Null-Feld. Vor und nach der Exposition von Versuchspersonen wurde Blut entnommen, decalcifiziert und die Abscheidung der Plättchen an Kunststoff-Fasern gemessen. Das abgeschiedene Thrombozytenprotein galt als Maß für die Adhäsivität.

Die Autoren fanden nach dreistündiger Applikation eines 10 Hz Feldes im Vergleich zum Ausgangswert eine signifikante ($p \leq 0,0005$) Erhöhung der Abscheidungsrate um ca. 10 %. Ein gleichlanger Aufenthalt der Probanden in einer Stahlkammer, d.h. im Elektro-Null-Feld, führte nicht zu signifikanten Änderungen des Parameters. Die Erfassung von Persönlichkeitsmerkmalen mit den Skalen des Minnesota Multiphasic Personality Inventory (MMPI) ergab, daß die Feldwirkung auf die Thrombozyten psychisch labiler Probanden stärker waren, als bei stabilen. Interessanterweise zeigte sich keine Wirkung des elektromagnetischen Feldes auf die Gerinnungsparameter:

Quick-Wert, Partielle Thrombinzeit, Thrombinzeit und Plasmatische Gerinnung. Aus dem Konstantbleiben dieser häufig bestimmten Laborwerte kann also nicht geschlossen werden, daß das elektromagnetische Feld das Gerinnungssystem unbeeinflußt ließ.

In Folgeversuchen veränderten die Experimentatoren sowohl die Feldstärke, als auch die Impulsfolge-Frequenz. Noch bei einer Feldstärke von 200 mV/m war eine signifikante Wirkung nachweisbar ($p=0,003$; $n=16$). Sowohl bei 5 Hz als auch bei 20 Hz Impulsfolge-Frequenz war die Thrombozytenadhäsivität - ebenso wie im Elektro-Null-Feld - geringfügig erniedrigt, während sie bei 10 Hz signifikant erhöht war.

Wurde Vollblut in vitro bestrahlt, so ergab sich keine Veränderung der Thrombozyten-Eigenschaften. JAKOBI stellte ebenfalls Wirkungslosigkeit der Strahlung fest, wenn der Kopf der Versuchspersonen mit Kupfergaze abgeschirmt war (57). Er folgerte aus diesen Ergebnissen, daß der Wirkungsbereich des Feldes im Kopfbereich des Organismus liegen müsse.

WEVER (56, 57) suchte ursprünglich nach physikalischen Größen, die die Eigenschaft aufweisen sollten, die 'freilaufende' circadiane Periodik des Menschen und die anderer Organismen zu beeinflussen. Dabei experimentierte er u.a. mit schwachen elektromagnetischen Feldern.

Für die Untersuchungen standen WEVER zwei Bunkerräume zur Verfügung. Davon war der eine - unsichtbar für die Versuchspersonen - gegen elektrische und magnetische Felder abgeschirmt.

Den ersten Hinweis auf elektrisch-biologische Wirkungen ergab der Vergleich zwischen den in beiden Räumen erhaltenen Versuchsergebnissen. In dreifacher Hinsicht bestanden signifikante Unterschiede:

Parameter	nicht abge- schirmter Versuchs- raum (57 Vps.)	abge- schirmter Versuchs- raum (80 Vps.)	Signifi- kanz
Mittelwert der Periode	24,87 Std.	25,21 Std.	p<0,01
Standardabweichung der Periode	± 0,45 Std.	± 0,80 Std.	p<0,01
Interne Desynchro- nisation	4 Vps.	28 Vps.	p<0,001

Tabelle 1 Nach WEVER (56)

Die Daten der Tabelle 1 zeigen u.a. die geringe interindividuelle Variabilität der Aktivitätsperiodik ($\pm 1,8\%$ bzw. $\pm 3,2\%$). Das macht sie zu einem empfindlichen Meßwert, der geeignet ist, z.B. feldinduzierte Änderungen von wenigen Prozent mit großer Präzision zu messen.

Im abgeschirmten Versuchsraum konnte ohne Wissen der Probanden ein oberwellenreiches 10 Hz Rechteckfeld von 2,5 V/m zugeschaltet werden.

WEVER beschrieb unter Feldeinfluß eine kürzere circadiane Periodik als ohne Feldeinfluß. Zahlreiche biologische Parameter mit einer circadianen Periodik, wie z.B. motorische Aktivität und Kerntemperatur, zeigten diesen statistisch gesicherten Effekt ($p \leq 0,001$).

Der Autor folgerte aus diesen Befunden, daß die natürlichen elektromagnetischen Felder die qualitativ gleiche Wirkung auf die circadiane Periodik des Menschen ausüben, wie das künstliche 10 Hz Feld.

Es ist auf das Phänomen der Internen Desynchronisation hinzuwei-

sen (Tabelle 1). Diese Entkoppelung von Körperrhythmen, wie z.B. der Schlaf-Wach-Periodik von der Rectaltemperatur-Periodik, die unter Normalbedingungen synchron zueinander verlaufen, trat bei 28 von 80 Versuchspersonen spontan auf, solange das künstliche 10 Hz Feld nicht eingeschaltet war (s. Tab. 1. In den dort genannten Zahlen sind nur Versuchsabschnitte ohne das künstliche 10 Hz Feld berücksichtigt). Bei keiner von 17 Versuchspersonen trat dieser Zustand unter Feldeinfluß auf. Es zeigte sich, daß Desynchronisation bei mehreren Probanden an dem Tag beendet werden konnte, an dem das 10 Hz Feld eingeschaltet worden war. WEVER betont, daß Desynchronisation in keinem Versuch spontan beendet wurde.

Orientierende Versuche sind von dem Autor an der motorischen Aktivität eines Grünfinken durchgeführt worden (57). Der unter zeitlich konstanten Bedingungen gehaltene Vogel reagierte in gleicher Weise wie der Mensch: Die freilaufende Periode war unter Feldeinfluß kürzer als in den Abschnitten ohne Feld.

Zur Untersuchung der Frage, ob eine Frequenz-Spezifität der Feldwirkung existiere, experimentierte WEVER (57) mit Zugvögeln: Er fand, daß ein Bergfink in einem 10 Hz Käfig-Abschnitt signifikant aktiver war als unter alternativ bestehenden 9 Hz Feld-Bedingungen.

Weitere Versuche zur Klärung der Biotropie des elektrischen Wirkkomplexes führten KRÖLING und MEYER durch (33). Sie untersuchten den Einfluß von sogenannter "Elektroklimatisierung" durch künstliche elektrische Gleich- und Wechselfelder an 23 Angestellten zweier Großraumbüros im Klinikum München-Großhadern. In Kopfhöhe der Probanden ließ sich durch Deckenelektroden ein Gleichfeld von 100 V/m und ein 10 Hz Rechteckimpulsfeld von 5 V/m anlegen. Mit Fragebögen wurden täglich die Befindensmerkmale des Kollektivs

erfaßt. Die Schaltung des Feldes geschah unter den Bedingungen des Doppelblindversuches.

In zwei Versuchsserien ergaben sich keine reproduzierbar signifikanten bzw. relevanten Differenzen der Befindenswerte zwischen den Tagen mit und ohne Feld. Eine Tendenz zu günstigeren Beurteilungen an Tagen mit eingeschaltetem Feld während des ersten Versuchsabschnittes wurde dadurch erklärt, daß im entsprechenden Zeitraum zufällig bessere Wetterbedingungen herrschten.

In Tierversuchen applizierte KRÖLING verschiedene luftelektrische Parameter bei Albinomäusen (28,29,30). Jedoch blieb die motorische Aktivität unverändert bei: Elektrischen Gleichfeldern ≤ 16 kV/m, 10 Hz Rechteckimpulsfeldern ≤ 1 kV/m und unipolaren Luftionen positiven oder negativen Vorzeichens. Die Versuche wurden mit einer durchschnittlichen Dauer von 20 Tagen durchgeführt.

Die Ergebnisse von KRÖLING entstanden z.T. mit denselben Versuchsaufbauten und Motilitätsmeßapparaturen, die für die vorliegende Arbeit verwendet wurden.

1.3 Definition und Gründe für die Wahl der Meßgröße Motilität

Bewegung (Motorische Aktivität oder Motilität; Lokomotion oder Lokalmotilität) ist eine fundamentale Eigenschaft des Lebendigen auf den Organisationsebenen: Zelle, Organ und Gesamtorganismus.

Die Motorik wird sowohl von endogenen Faktoren wie z.B. dem Stoffwechsel oder dem Neuro-Endokrinen-System beeinflusst, als auch von exogenen Faktoren wie den Licht- und Temperaturverhältnissen, dem Nahrungsangebot und vielen anderen.

Im Experiment bietet die Motorik als Meßgröße eine Reihe von Vorteilen:

- Bewegung ermöglicht als integrale Größe Aussagen über den Gesamtzustand eines biologischen Systems
- Sie kann ohne die Versuchstiere zu beeinflussen bestimmt werden und eignet sich deshalb besonders für Langzeituntersuchungen
- Änderungen der Motorik sind in der Strahlenbiologie und Verhaltenstoxikologie als empfindlicher Indikator bekannt werden in der Pharmakologie routinemäßig gemessen
- Die Befunde sind durch andere Arbeitsgruppen gut nachprüfbar
- Nach W. ROUXs "Gesamtdefinition des Lebens" (25) stellt Bewegung eine wichtige Grund-Eigenschaft der Organismen dar.

Nach dieser Definition kommt die angewandte Methode der zahlenmäßigen Erfassung einer fundamentalen Eigenschaft des Lebens nahe.

Auf Grund dieser Qualitäten sind Laufbewegungen von Versuchstieren, meist kleinen Nagern, in vielen Untersuchungen - u.a. auf dem Gebiet der Elektro-Bio-Klimatologie - als Indikator für verschiedenste Wirkgrößen verwendet worden. Das gilt z.B. für die im Literaturteil zitierten Arbeiten von: ALTMANN, FISCHER, KRÖLING u.a. .

2.0 DARSTELLUNG VON MOTILITÄTSMESS- APPARATUR UND VERSUCHSAUFBAUTEN

2.1 Beschreibung der Meßanlage

Nach Vorversuchen mit einem Lichtschrankensystem zur Motilitätsmessung, planten KRÖLING, DIRNAGL und PRAML (27) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Technische Elektronik der TU-München die von mir benutzte Registrieranlage.

An das Meßprinzip wurden bei der Entwicklung folgende Anforderungen gestellt:

- Die physikalische Größe, auf der es beruhen sollte, mußte von den applizierten (Feld-) Parametern verschieden sein
- Bewegung sollte möglichst unabhängig vom Käfigort, der Versuchstierzahl und -bewegungsrichtung homogen erfaßbar sein
- Gleichzeitige Registrierungen an mehreren Tierkollektiven sollten durchführbar sein
- Völlige Metall-Freiheit der Sensoren wurde gefordert.

PRAML (41) realisierte 1975 eine diesen Anforderungen entsprechende, sechs-kanalige Meßanlage.

Der Meßaufnehmer

basiert auf einem pneumatisch-elektrischen System: Drei Gummibälge tragen den Käfig (Abb. 1). Sie stehen über ein Röhrensystem in Verbindung. Der Impulsübertrag von Tierbewegungen mit und ohne Ortsveränderungen führt in den Röhren zu Luftverschiebungen, die den ohmschen Widerstand eines Thermistors ändern. Die zeitliche Auflösung für mechanische Impulse beträgt $\geq 0,1$ sec.

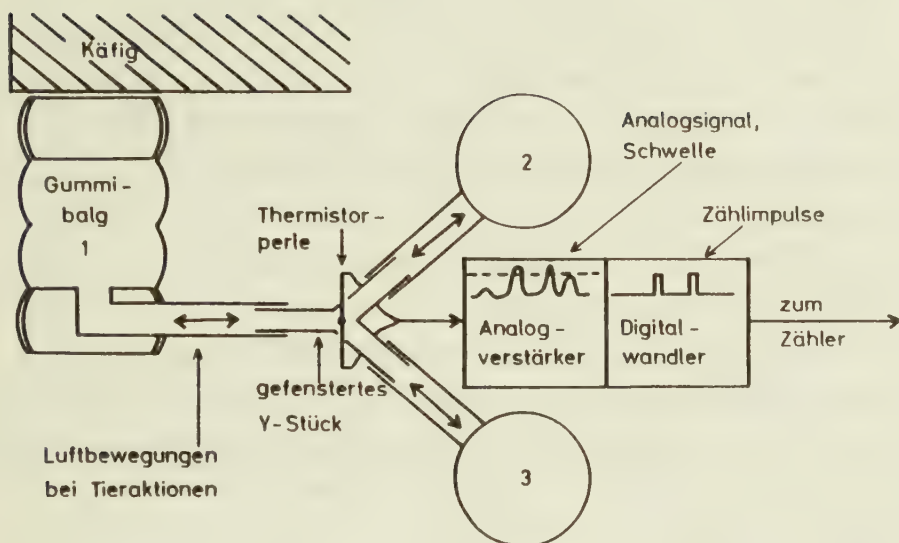


Abb. 1: Blockschaltbild von Meßaufnehmer und Meßverstärker
Die linke Bildhälfte ist in Seitenansicht dargestellt, die rechte in Aufsicht (KRÖLING, 27).

Der Meßverstärker

hat die Funktion, alle über einer einstellbaren Schwelle liegenden Analogsignalamplituden in Rechteckimpulse zu wandeln und an die Registriereinheit weiterzugeben (Abb. 2). Durch Regelung des Thermistorheizstromes besteht die Möglichkeit zum Grobabgleich der Meßaufnehmer; dadurch ist die Zählrate innerhalb weiter Grenzen wählbar.

Die Registriereinheit

addiert die Impulse und transferiert die Summe nach wählbaren Zeitintervallen auf Datenträger. Der wichtigste Teil dieser Einheit ist der Prozessor, dessen sechs Zählereingänge mit den Meßverstärkern verbunden sind. Die Abb. 2 zeigt das Blockschaltbild der Meßanlage

in dreikanaliger Ausführung. Der Zählerstand kann für jeden Kanal angezeigt werden. Durch eine Schaltuhr wird die Abfrage ausgelöst. Die Zählerinhalte der Meßkanäle werden von einer Stanzersteuerung übernommen, die einen Fernschreiber ansteuert. Gleichzeitig zu einem Blattausdruck wird ein Lochstreifen zum Datentransfer hergestellt.

Die automatisch arbeitende Motilitäts-Meßanlage wurde täglich kontrolliert und gewartet.

Die Registriereinheit und die Fernschreibmaschine standen von den Versuchsaufbauten räumlich getrennt: Dadurch ließ sich die Möglichkeit einer Beeinflussung der Versuchstiere weitgehend vermeiden.

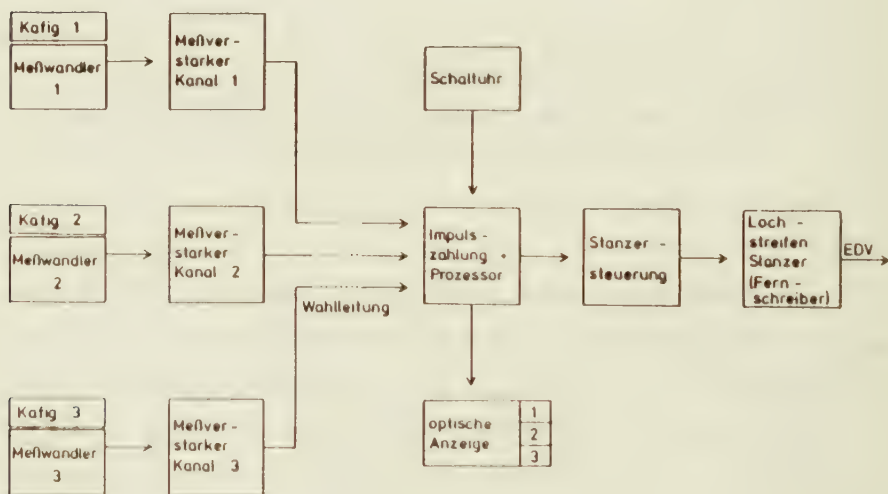


Abb. 2: Blockschaltbild der Registrieranlage

Die Meßkanäle 4, 5 und 6 sind nicht abgebildet (KRÖLING, 27)
(KRÖLING, 27).

2.2 Funktionsprüfung der Meßanlage und Methodenvergleich

Vor Beginn der Versuche fand eine Plausibilitätskontrolle des Aktographen statt, indem eine "mechanische Maus" durch ein fallendes Gewichtsstück ausreichend konstante Erschütterungen erzeugte, die sich auf die Sensoren der Käfige übertrugen. Dieser definierte Input lieferte Zählraten, die stets der Meßzeit proportional waren.

Eine später durchgeführte Validitätsprüfung verlief ebenfalls zufriedenstellend. Während 33 Tagen wurde der zeitliche Verlauf der Motorik desselben Tierkollektivs, zusätzlich zum beschriebenen Verfahren, durch einen zweiten, optisch arbeitenden Aktographen (MARCO MOT)* erfaßt (Abb. 3). Die unterschiedlichen Meßprinzipien beider Verfahren eröffneten die Möglichkeit, durch Vergleichsmessungen systematische Fehlereinflüsse zu erkennen. Die unabhängig entstandenen Beobachtungsergebnisse beider Verfahren stimmten hervorragend überein: Die nach der Methode der Abweichquadrate berechnete Korrelation der beiden Kurvenzüge betrug 99,5 %.

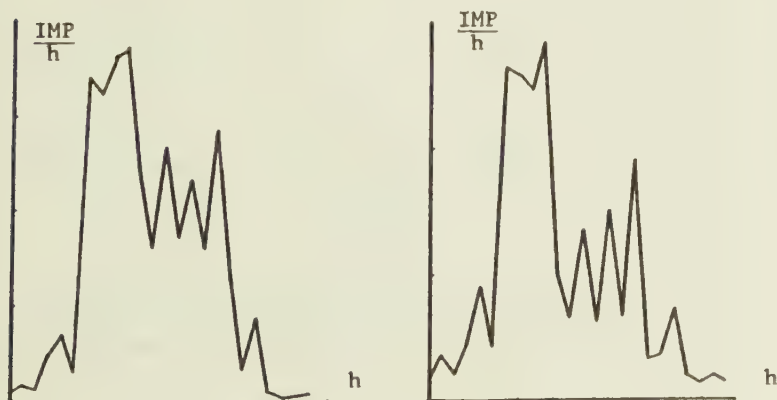


Abb. 3: Methodenvergleich zwischen dem elektrisch-pneumatischen Aktographen (rechts) und dem MARCO-MOT Sensor (links). Beide Systeme beobachteten gleichzeitig vier Albinomäuse. Die Abb. ist ein Ausschnitt einer Meßserie von 33 Tagen.

* Für diese Auswertung danke ich der Fa. MARCO.

2.3 Apparaturen zur Erzeugung der elektrischen Felder

Ein unter dem Käfig befestigtes Eisenblech und das Drahtgitter der Käfigabdeckung bildeten die Flächenelektroden zur Herstellung der elektrischen Felder. Die Abbildung 4 zeigt die Feldlinien im Käfiginneren.

Die Amplitude und die Frequenz der 10 und 28 kHz Felder wurden jeweils mit einem Oszillographen eingemessen. Die elektrische Feldstärke des 50 Hz Feldes wurde mit einer Feldplatte eingestellt.

Dipl.-Phys. GALL (Klinik f. Phys. Med.) berechnete die magnetischen Komponenten der elektrischen Felder. Bei jeder der drei ap-

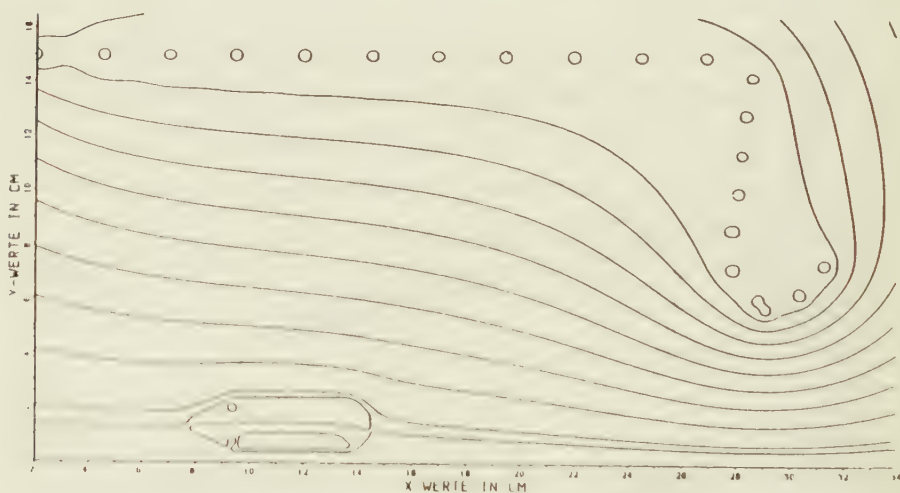


Abb. 4: Äquipotentiallinien im Käfiginneren* (Längsschnitt)

Das Käfigmaterial (besonders die Gitterstäbe rechts) und das Versuchstier (links) verzerren die Homogenität des elektrischen Feldes.

* Ich danke Herrn Dipl.-Ing. KARL von der Forschungsstelle für Elektropathologie, Außenstelle TU-München, für die Durchführung der EDV-gestützten Berechnung.

plizierten Frequenzen (50 Hz, 10 und 28 kHz) war die magnetische Feldstärke $\leq 10^{-7}$ mT.

Das elektrische 50 Hz Feld wurde durch Anlegen der Netzspannung (220 V) unter Zwischenschaltung einer Stromsicherung erzeugt; bei einem Elektrodenabstand von 0,15 m betrug seine Feldstärke 1500 V/m.

Zur Erzeugung des 10 kHz Feldes wurde ein Frequenzgenerator (Fa. Rohde und Schwartz) mit der Ausgangsspannung $U_{\text{eff}} = 6,0$ V verwendet. Der elektrische Vektor betrug in senkrechter Richtung 40 mV/m. Den gleichen Wert hatte auch die Feldstärke des 28 kHz E-Feldes, das ein Generator der Fa. Grundig erzeugte.

2.4 Apparaturen zur Erzeugung der Magnetfelder

Zur Erzeugung eines 50 Hz Magnetfeldes diente ein "Magnetotron"-Gerät (Fa. elec, Wiesbaden). Die Feldstärke war bis 2,2 mT stufenlos regulierbar. Durch eine zusätzliche Transistorschaltung konnte auch ein gleichgerichtetes Wechselfeld (Halbwelle) erzeugt werden.

Die Spule bestand aus einem Kunststoffrohr von 0,4 m Länge und 0,5 m Durchmesser (Abb. 5). Der Spulenkörper war nach einem Vorschlag von DIRNAGL mit 1300 Windungen zweier isolierter, parallel

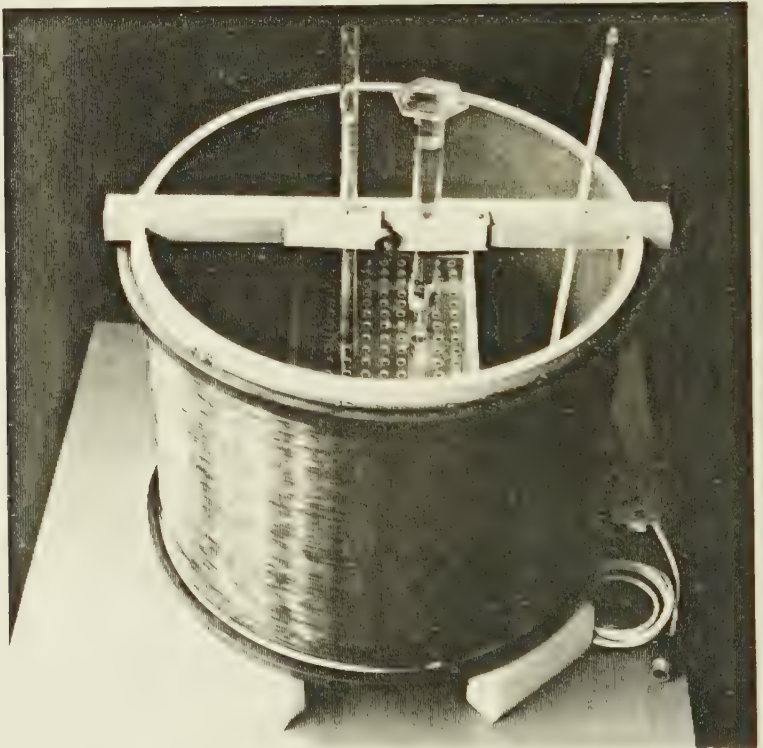


Abb. 5: Luftspule zur Erzeugung des 50 Hz Magnetfeldes.

Im Spuleninneren: Plastikbügel mit berührungslos hineinragendem Futter- und Wasserrohr sowie geeichtem Thermometer.

geführten, 0,7 mm starker Kupferdrähte bewickelt, Dadurch konnten wahlweise eine gleich- oder gegensinnige Stromführung gewählt werden (bifilares Prinzip).

Diese Anordnung erschien günstiger, nachdem sich in Vorversuchen eine Styroporisolation und eine Ventilation der Spule zur Abführung der Joulschen-Wärme nicht bewährt hatten.

Dagegen konnten durch das bifilare Prinzip - auf Grund einer gleichgroßen Wärmeproduktion in den Zuständen: Feld-EIN und Feld-AUS - fast identische thermische Bedingungen in den beiden Zuständen eingehalten werden. Die dadurch begründete große Ähnlichkeit der beiden Temperaturgänge zeigt die Abb. 6. Zur fortlaufenden Temperatur-Registrierung befand sich der Meßfühler eines elektrischen Thermometers in der Spulenwicklung.

Zum Ausschluß einer mechanischen Schwingungsübertragung von der Spule auf den Käfig lagerten schwere Steinquader den Käfig und plastisch verformbare Styroporklötze die Spule. Diese Vorkehrung wurde getroffen, weil die Sinnesschwellen der Albinomaus für Vibrations- und Gehörsempfindung nicht genau bekannt sind.



Abb. 6: Temperaturgang der 50 Hz, 2,2 mT Spule.

Registrierungen über jeweils 24 Stunden im Feld-EIN-Zustand (Spule gleichsinnig durchströmt) und Feld-AUS-Zustand (Spule gegensinnig durchströmt).

Zur Erzeugung der magnetischen 10 und 28 kHz Felder fand der genannte Grundig-Generator Verwendung (s.S. 21). Sein Ausgangssignal wurde von einem 2 x 20 Watt Verstärker (Fa. Akai), dessen Endstufen in Serie geschaltet waren, verstärkt.

Es wurde eine Luftspule mit 160 Windungen in der genannten Dimensionierung benutzt. Ihre Wicklung bestand aus drei parallel geführten Kupferdrähten von jeweils 0,7 mm Durchmesser.

Von einem Hochtönlautsprecher wurde während der Versuche ein 10 bzw. 28 kHz Dauerton abgegeben. Der Lautsprecher sollte akustische Nebeneffekte der betriebenen Spule überdecken, da Schallempfindungen der Versuchstiere bei beiden Frequenzen nicht auszuschließen waren.

Wegen der geringen Leistungsaufnahme der Spule bei 10 und 28 kHz (Tab. 2) war beim Wechsel der Zustände EIN/AUS kein Temperatursprung meßbar und infolgedessen eine Isolierung unnötig.

Die Tabelle 2 faßt abschließend die von Dipl.-Phys. GALL berechneten Feldparameter der benutzten Luftspulen zusammen.

Frequenz	Feldform	magnet. Flußdichte	induziertes elektrisches Feld	Leistung
(kHz)		(mT)	(V m ⁻¹)	(W)
0,05	sinus	2,00	$0,5 \times 10^{-4}$	-
10,00	sinus	0,15	0,3	0,40
28,00	sinus	0,05	0,3	0,04

Tab. 2: Feldparameter der verwendeten Luftspulen.

Die Werte der induzierten elektrischen Feldstärke beziehen sich auf eine hypothetische Feldstärke von 10 mT.

2.5 Käfige, Versuchstiere und ihre Haltung

Für die Versuche wurden weiße Mäuse (*mus musculus*) des Stammes Balb C der Versuchstierzucht des Max-Planck-Institutes für Biochemie in München/Martinsried verwendet.

Bei Balb C handelt es sich um einen Inzuchtstamm. Durch das Verfahren der permanenten Bruder-Schwester-Paarung verkleinert sich die genetische Bandbreite im Laufe der Generationen: Die Homogenität der Tiere wird groß.

Da Mäuse soziallebende Tiere sind, wurde eine Gruppenhaltung von vier Tieren der Einzelhaltung vorgezogen. Es wurden Weibchen verwendet, da sie vor und nach der Geschlechtsreife verträglicher sind als Männchen. Nach der Ankunft wurden die 21 bis 28 Tage alten Tiere zufällig auf die Käfige verteilt. Die Tiere eines Kollektivs blieben während des gesamten Untersuchungsprogramms zusammen.

Futter (Altromin Standard Diät) und Trinkwasser standen ad libitum zur Verfügung; das Nachfüllen geschah täglich zur gleichen Zeit. Ein Wechsel der Käfigeinstreu erfolgte jeweils nach Beendigung einer Versuchsserie.

Zur Tierhaltung wurden Plastikboxen (33 x 20 x 15 cm³) mit spezieller Abdeckung verwendet: Diese bestand in den E-Feld-Versuchen aus Eisendraht, der zugleich als Elektrode diente. In den H-Feld-Versuchen bedeckte ein Rost aus Glasstäben den Käfig. An einer Schmalseite ragten Futter- und Wasserrohr berührungslos in das Käfiginnere (s. Abb. 5).

Der Versuchsraum wurde ausschließlich durch das Licht einer einhundert Watt Glühbirne erleuchtet. Eine Uhr schaltete die Hell-Dunkel-Phasen von jeweils 12 Stunden Dauer. Die Beleuchtung schaltete sich um 6 Uhr ein und um 18 Uhr aus.

Durch eine spezielle Wahl der Aufstellungsorte der Käfige im Versuchsraum konnte die gegenseitige optische Wahrnehmung der Tierkollektive ausgeschlossen werden.

Eine akustische Stimmungsübertragung, das ist die bei "soziallebenden Tieren verbreitete Neigung, gleichzeitig dasselbe zu tun" (21), wurde von TIMMERMANN (52) bei weißen Mäusen untersucht. Unter ihren Versuchsbedingungen fanden sich keine Stimmungsübertragungen auf akustischem Wege.

Eine Autokorrelation der Tagesmittelwerte der einzelnen Tierkollektive, durchgeführt über mehrere Wochen, ergab keine Hinweise auf eine auffällige Synchronizität der miteinander verglichenen motorischen Aktivitäten. Dies spricht ebenfalls gegen eine optische, olfaktorische oder anders geartete Stimmungsübertragung.

3.0 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE

3.1 Versuchsnebenbedingungen

Ein Kellerraum im IMBK stand für die Durchführung der Experimente und die Haltung der Versuchstiere zur Verfügung. Dieser Raum lag ca. 3 m unterhalb der Erdoberfläche. Neben der Lufttemperatur und Luftfeuchte wurden die elektrische Wechselfeldstärke, der Ionengehalt der Luft und die Luftradioaktivität meßtechnisch erfaßt.

Ein geringer Temperaturgang und das weitgehende Fehlen von akustischen Störungen waren ausschlaggebend, den Kellerraum zur Versuchsdurchführung zu wählen. Während der 21 Tage dauernden VS 1 z.B., betrug der Mittelwert der Lufttemperatur $18,5^{\circ}\text{C}$ mit einer maximalen Abweichung von $0,5^{\circ}\text{C}$. Die Schwankungen der Temperatur bewegten sich während des gesamten Versuchsprogramms in diesem Bereich; der Mittelwert stieg im Sommer auf $20,0^{\circ}\text{C}$ an.

Die relative Luftfeuchte betrug $55 \pm 10\%$ (VS 1). Sie stieg im Sommer auf $85 \pm 15\%$ rel. % an.

Messungen an verschiedenen Orten des Versuchsraumes ergaben eine breitbandig gemessene elektrische Wechselfeldstärke $E_{\text{eff}} \approx 30\text{ Vm}^{-1}$ (Meßplatte und Gerät: A. Kunkis Meßtechnik).

Im Versuchsraum wurde eine relativ hohe Luftionenkonzentration festgestellt. Die Zahl der positiven Ionen betrug ca. 6000, die der negativen Ionen ca. 4000 pro cm^3 . Vergleichsmessungen an verschiedenen Orten des Institutes ergaben durchschnittlich 300 positive zu 600 negativen Ionen pro cm^3 .

Zur Abklärung der erhöhten Luftionisation wurde zunächst die

Beta-Strahlung gemessen. Sie lag im Bereich der normalen Hintergrund-Strahlung.

Zur Erfassung von Alpha-Strahlung wurde ein "kontinuierlicher Monitor zur getrennten Erfassung von Radon- und Thoron-Zerfallsprodukten in der Raumluft" (GSF-Bericht A4/83) vom Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes in Neuherberg/München ausgeliehen (54, 55).

In 185 Spektren ergab sich ein erhöhter Mittelwert von

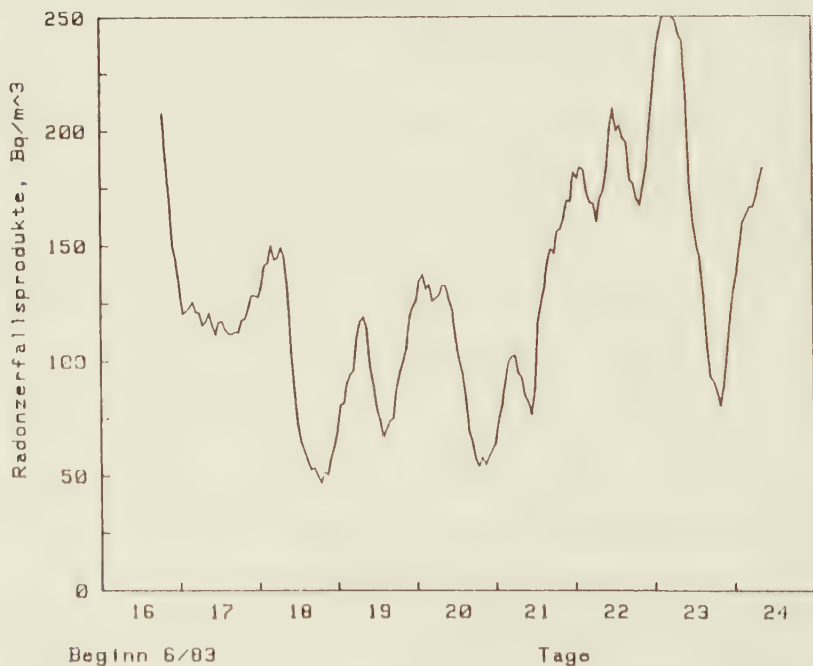


Abb. 7: Tageszeitliche Schwankungen der Radonzerfallsprodukte am Ort der Versuchsdurchführung.

Ordinate: Aktivität (Bq/m³); Abszisse: Meßtage 16 bis 24

$129,9 \pm 49,5 \text{ Bq/m}^3$ ($3,5 \pm 1,3 \text{ pC/l}$) für die sogenannte "potentielle Alphaenergiekonzentration". Die Abb. 7 zeigt die tageszeitlichen Schwankungen der Alphaaktivität während der Meßzeit von acht Tagen.*

Nachdem die Ursache der hohen Luftionenkonzentrationen in den Exhalationen von Radon-Gas und seinen Folgeprodukten gefunden war, stellte sich die Frage, welche Bedeutung die gemessenen Größen: Luftionen und Alphaaktivität für die Versuche zur Feldwirkung hätten.

Um dies zu klären, wurde eine Korrelation zwischen der motorischen Aktivität der Versuchstiere und der Konzentration der Atemluft an Radonzerfallsprodukten durchgeführt. Während des zehntägigen Vergleichs der beiden Meßreihen fanden sich keine auffälligen Koinzidenzen.

Frühere Untersuchungen von KRÖLING (28) und ELSSER (19) zum Einfluß hoher Luft-Ionen-Konzentration auf die motorische Aktivität von Balb-C-Mäusen schlossen ebenfalls eine biologische Wirkung der Luft-Ionisation aus.

* Ich bedanke mich bei Herrn Dipl.-Phys. WICKE von der Gesellschaft für Strahlenforschung (GSF) in 8042 Neuherberg, der den Monitor zur Verfügung stellte.

3.2 Versuchs- und Auswerteschema

Im Längsschnitt traten in allen Versuchsserien Schwankungen der Versuchstiermotorik auf. Die unbeeinflussten Käfige K1 und K6 der Versuchsserie 4 (VS 4) zeigen beispielhaft, wie groß spontan auftretende Änderungen der Motorik waren: In Abb. 8 gibt die rechte Ordinate die prozentuale Abweichung ($\Delta\% \bar{x}_{\text{ges}}$) der Tagesaktivitäten

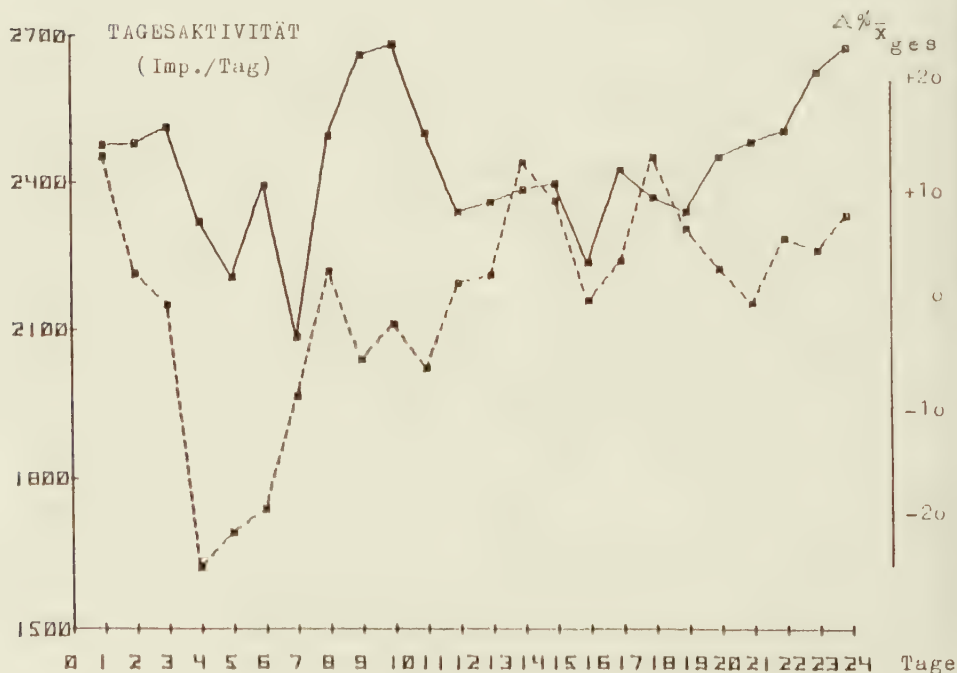


Abb. 8: Darstellung der gleichzeitig registrierten Motorik der Kontroll-Kollektive K1 (—) und K6 (---) während der VS 4.
 linke Ordinate: Durchschnittliche Tagesaktivität (Imp./Tag)
 rechte Ordinate: Prozentuale Abweichung ($\Delta\% \bar{x}_{\text{ges}}$) der Aktivitätswerte, bezogen auf K6.
 Abszisse: Versuchstage (Tage) 1 bis 24.

vom arithmetischen Mittel der gesamten Meßreihe, bezogen auf K6, an. Die Abbildung zeigt weiterhin, daß die Varianz der Motorik bei der Tierkollektive nicht zufällig zu sein scheint, sondern einem Trend unterliegt.

Bei der Entwicklung eines Versuchs- und Auswerteschemas mußten diese langwelligen Schwankungen der Motorik berücksichtigt und in geeigneter Weise eliminiert werden.

Nach dem Muster der von KRÜLING (28, 29) durchgeführten Versuche wurde dies durch Aufeinanderfolge von - im Vergleich zur Versuchsgesamtdauer - kurzen Abschnitten im unbeeinflussten (N) und beeinflussten Zustand (N + F) erreicht. Als günstig erwiesen sich Abschnitte von 24 Stunden. Sie sind im Verhältnis zum Trend klein genug und erlauben eine statistische Prüfung durch Wiederholung. Außerdem ist das Tagesintervall der circadianen Periodik der Albinomaus angepaßt.

Das Versuchsergebnis ist jeweils das Mittel aller N-Tage und aller N + F-Tage, die nach dem Muster: N, N + F, N, N + F ... aufeinander folgen. Nur bei den Tranquillantienversuchen wurde von diesem Grundschema abgewichen.

Zur Erläuterung der Versuchsauswertung dient die Abb. 9: Die ersten zwei Zeilen zeigen schematisierte Motilitätsprofile und Tagesaktivitäten (Balkendiagramme) bei Normalbedingungen (N) und zusätzlichem Einwirken des applizierten Faktors (N + F). In der Zeile drei wird über alle Wirkabschnitte nach Zuständen getrennt gemittelt: Neben Gesamtmittelwerten der Tagesaktivitäten sind auch gemittelte Profile nach ihrer Form und Lage ausgewertet. Zeile vier der Abbildung zeigt das Versuchsergebnis: F ist wirksam, denn die Gesamtmittelwerte unterscheiden sich in dem Beispiel signifikant, und die Polygone sind zu mehreren, aufeinanderfolgenden Zeitpunkten

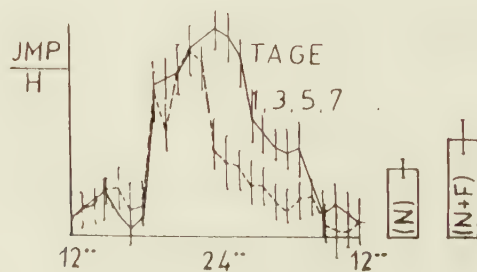
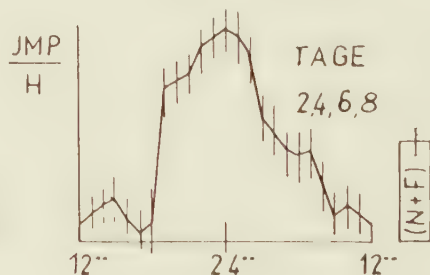
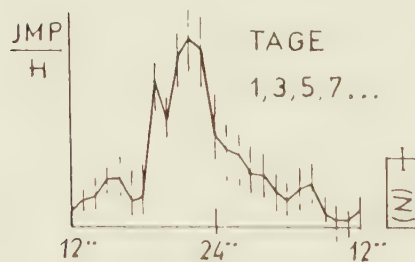
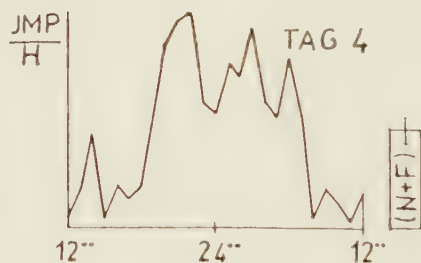
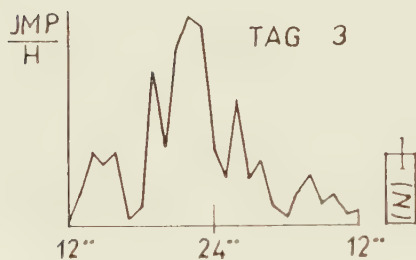
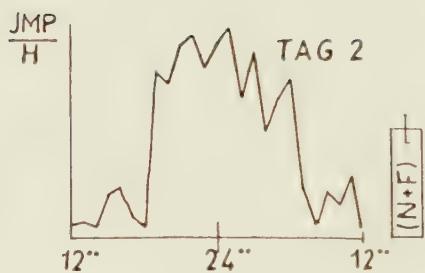
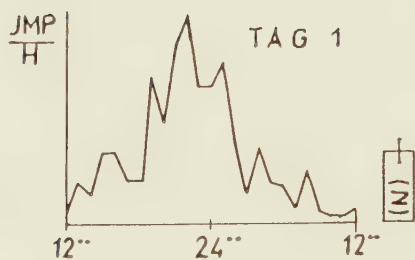


Abb. 9: Darstellung des Auswerteschemas

Zeile 1 und 2: Schematisierte Verläufe der stündlich registrierten Motilitätsmeßwerte der Tage 1 bis 4 bei Normalbedingungen (N), bzw. unter dem zusätzlichen Einfluß eines Wirk-Faktors (N + F).

Zeile 3: Mittelung der Aktivitätswerte zu gleichen Stunden über alle Wirkabschnitte, jeweils im Zustand (N) und (N + F). Darstellung der über den gesamten Versuch gemittelten stündlichen Aktivitäten beider Zustände in Balkenform (Gesamtmittelwerte).

Zeile 4: Vergleich der Kurvenzüge nach Lage und Form. Vergleich der Gesamtmittelwerte.

überzufällig und gerichtet getrennt.

Das beschriebene Auswerteschema hat die Eigenschaft, Effekte mit einer mehrtägigen Anstiegs- und Abklingquote zu eliminieren. Folgen die Wirk- und Kontrollabschnitte jedoch nach dem Muster:

N + F, N₁, N₂; N + F, N₁, N₂ aufeinander, so lassen sich nach jeweiliger Mittelung auch langsam einsetzende oder abklingende Wirkgrößen erfassen. Nach diesem Versuchsschema führte ich die im Folgenden beschriebenen Versuche mit dem Tranquillantium Diazepam durch, da hang-over-Effekte dieses Wirkstoffes bekannt sind.

Als Zeiteinheit für die Summierung von Bewegungsimpulsen wurde - entsprechend den Versuchen KRÖLINGS - 1 Stunde gewählt. Eigene Vorversuche mit Integration der Bewegungsimpulse über 30 Minuten erbrachten keinen höheren Informationsgehalt der Messungen.

In jeder Versuchsserie wurden neben den Wirkkäfigen ein bis zwei Kontrollkäfige mitgeführt. Die Auswertung der Kontrollkäfige er-

folgte simultan zum Feld-EIN- bzw. zum Feld-AUS-Zustand der Wirkkäfige. Das Ergebnis der Kontrollversuche diente als Maß für die Variabilität innerhalb einer Versuchsserie, die durch zufällige und systematische Fehler bedingt war.

Die statistische Prüfung der Daten erfolgte nach dem folgenden Verfahren: Zur Prüfung der Gesamtmittelwerte auf Null gegenüber der gemeinsamen Streuung aus den zugrundeliegenden Einzelmeßungen wurde der t-Test für verbundene Stichproben angewandt (Kriterium 1: Mittelwertsvergleich). Die Tagesaktivitäten x_i im Zustand N und y_i im Zustand N + F wurden als Einzelmeßung aufgefaßt und mit $d_i = x_i - y_i$ in die Gleichung für die Prüfgröße t eingesetzt:

$$t = \frac{(\sum d_i) : n}{\sqrt{\frac{\sum d_i^2 - (\sum d_i)^2 : n}{n(n-1)}}} \quad \text{FG} = n - 1$$

Derselbe Test wurde auch auf Paardifferenzen von gemittelten Stundenwerten angewandt und deskriptiv interpretiert (Kriterium 2: Form und Lage der graphisch dargestellten Motilitätsprofile). Dies geschah dann, wenn eine optisch auffällige Differenz zwischen beiden Profilen auf zufallsbedingte Abweichungen infolge der hohen Varianz oder der Wirksamkeit des Faktors F geprüft werden sollte. In diesen Fällen ist in den Diagrammen durch die Zeichen * und ** markiert, auf welchem Signifikanzniveau sich die beiden Stundenmittelwerte unterscheiden.

3.3 Vorversuche zur Bestimmung der Empfindlichkeit der Methode

Die Ermittlung von Nachweisgrenzen eines Meßverfahrens bietet die Möglichkeit zum Methodenvergleich. Dadurch können Empfindlichkeit, Aussagekraft und Leistungsfähigkeit des Verfahrens relativiert werden. Ich wählte in Vorversuchen zwei schwache Einflußgrößen, deren Wirksamkeit auf die Motorik vorausgesetzt werden konnte: Der physikalische Reiz einer kleinen Temperaturerhöhung und ein Pharmakon aus der Gruppe der Tranquillantien (Diazepam).

Ein weiterer Grund für die Applikation der thermischen Größe war die Notwendigkeit, die in den Hauptversuchen unvermeidbar auftretenden thermischen Sekundärwirkungen (z.B. beim Betrieb der Spulen) abschätzen zu können.

3.3.1 Temperaturversuche

Die Wirkung von Temperaturerhöhung um 2 bis 4° C untersuchte ich in fünf Einzelversuchen.

Ein regelbarer, mit Gleichstrom betriebener Kabelheizer erzeugte die zusätzliche Wärmemenge. Er lag dem Käfigboden auf, und war mit einer wärmeleitenden Kupferplatte bedeckt. Gegen konvektive Wärmeverluste nach oben schützte eine Plexiglasscheibe, die gleichzeitig als Käfigabdeckung diente. Die Einstellung und Regelung der Temperatur erfolgten durch einen elektronischen Regler (Biotherm, Firma Dietsche, 7890 Waldshut).

In VS 6 verwendete ich einen temperaturstabilisierten Kasten mit

den Abmessungen $180 \times 60 \times 80 \text{ cm}^3$, in den ein Tierkäfig gemäß der Abb. 10 hineingestellt werden konnte. Hier ersetzten zwei Thermo-kissen den Kabelheizer und stellten durch Luftkonvektion im ge-samten Volumen homogene Temperaturverhältnisse her.

Die in den einzelnen Versuchen applizierten Temperaturen sind der Tab. 3 zu entnehmen. Ihre Messung geschah stets mit berußtem Alko-holthermometer in "Maushöhe".

ELSSER (19), die ebenfalls mit dem von mir verwendeten Aktographen arbeitete, fand bei Temperaturerhöhung von 25 (= Notmaltempera-tur NT) auf $26,5^\circ \text{ C}$ (= NT + $1,5^\circ \text{ C}$) die Gesamtmotilität von Balb-C-Mäusen um 24 % vermindert. Die ursprüngliche Aufgabenstellung, die Festlegung der Nachweisgrenze für eine kleine Temperaturdiffe-renz, erweiterte sich damit um die Frage der Reproduzierbarkeit der Resultate von ELSSER.

Die Ergebnisse der Temperaturversuche zeigt die Tab. 3. Die Abbil-dungen 11 und 12 enthalten die zugehörigen Motilitätsprofile. Die prozentuale Abweichung der Motilitäts-Gesamtmittelwerte ($\Delta\%$) ist trotz unterschiedlicher Temperaturverhältnisse stets $\leq 3,3\%$.

Eine allgemeine Schlußfolgerung hinsichtlich der Temperaturwir-kung läßt sich nicht ziehen, da die Ergebnisse der vier abgebilde-ten Temperaturversuche inkonsistent sind und ein Effekt in keinem Falle auf dem 5 %-Niveau abzusichern war.

Die relativ große Differenz der Gesamtmittelwerte in VS 6, K 2 beruht darauf, daß die Mäuse ihre 24stündige Aktivitätsperiodik verloren haben. In diesem Versuch gelangte die externe Beleuchtung, die ein wichtiger biologischer Zeitgeber und synchronisierender Um-weltfaktor ist, in nicht ausreichender Stärke bis zu den Tieren. Die Analyse der dadurch freilaufenden circadianen Periodik ergab

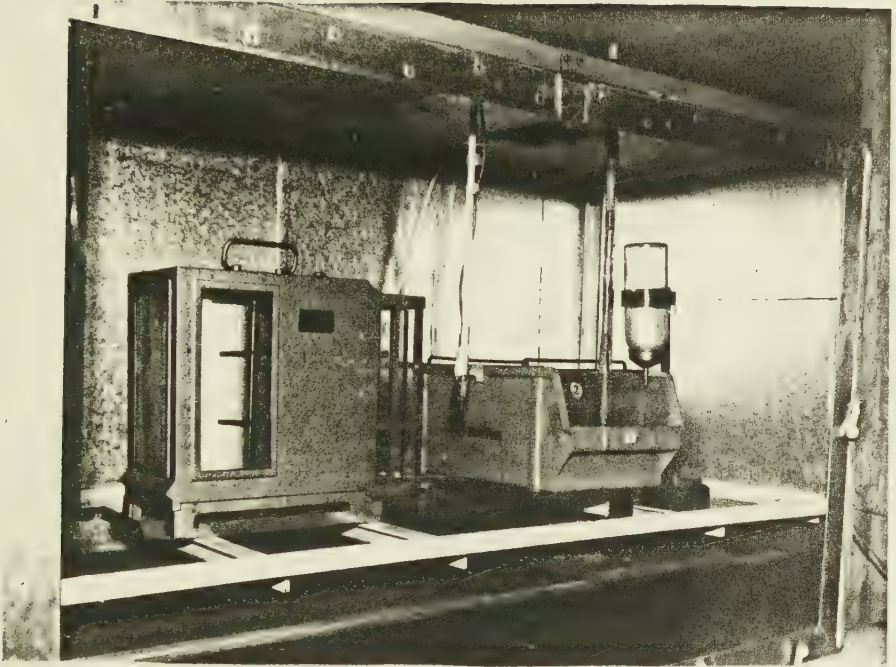


Abb. 10: Regelbarer temperaturstabilisierter Kasten zur Erzeugung der thermischen Einflußgröße während der VS 6.

eine Länge von $\tau = 24,9$ h (Berechnung der Periodenlänge durch Fa. MARCO).

Der negative Ausgang der Temperaturversuche ließ die Frage der Adaptation der Mäuse auf Temperaturreize von wenigen Grad Celsius oder der mangelhaften Empfindlichkeit der Versuchsanordnung experimentell offen. Wie in der Diskussion ausgeführt, ist die motorische Aktivität von Albinomäusen im untersuchten Temperaturbereich offenbar - im Gegensatz zu ELSSER - recht temperaturunempfindlich.

Um aber dennoch die Empfindlichkeit der Methode relativieren zu können, setzten wir die Versuche mit einer pharmakologischen Wirkgröße fort.

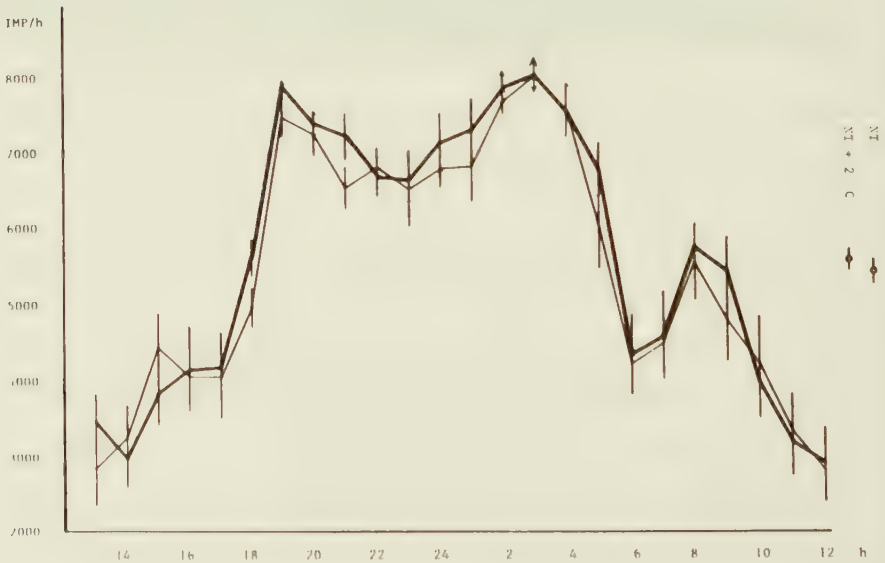
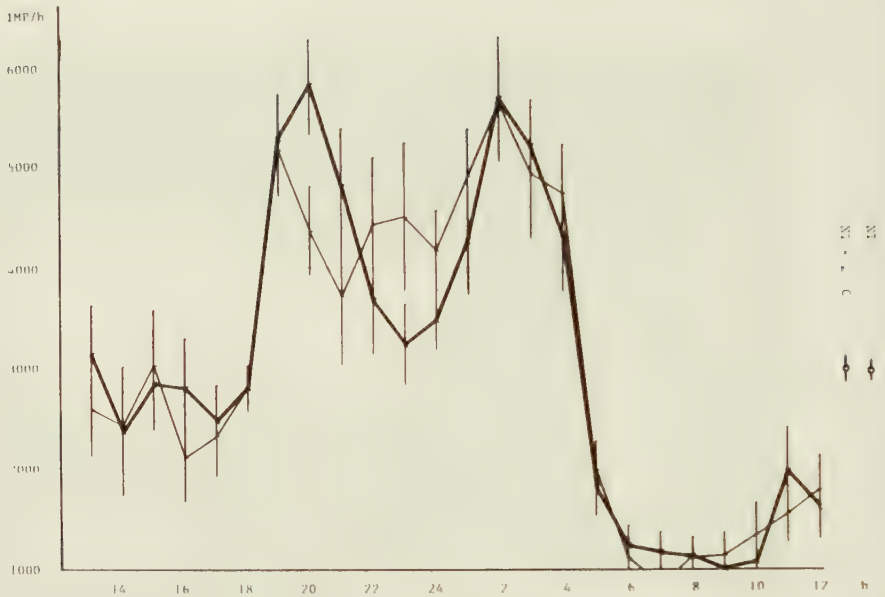


Abb. 11: Temperaturversuche

Zeitliche Strukturen und Gesamtmittelwerte bei künstlicher Erwärmung $NT + \Delta t$ (dicke Linien) und bei Normaltemperatur NT (dünne Linien)

oberer Teil : VS1 K6; 10 + 11 Tage; $NT = 21^\circ \text{C}$ und $\Delta t = + 2^\circ \text{C}$

unterer Teil: VS3 K3; 13 + 13 Tage; $NT = 21^\circ \text{C}$ und $\Delta t = + 2^\circ \text{C}$

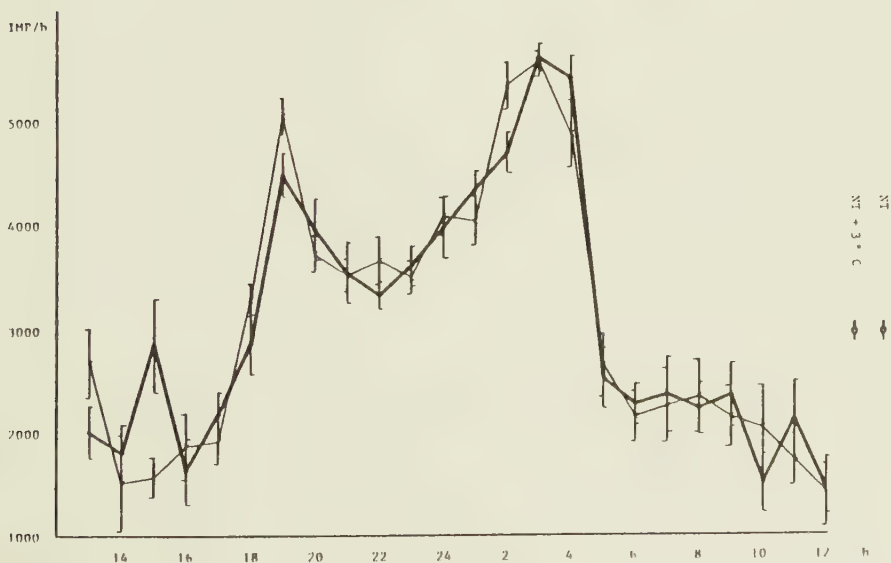
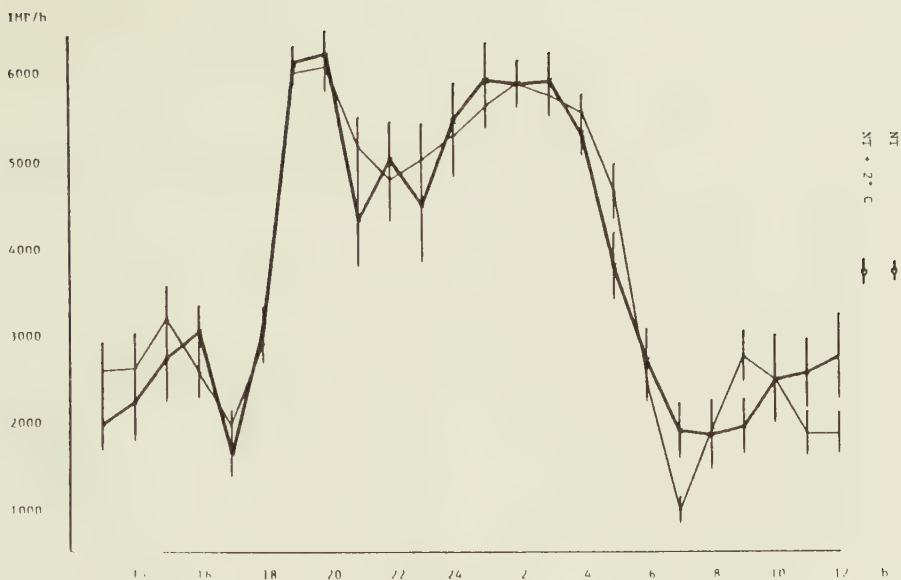


Abb. 12: Temperaturversuche

Zeitliche Strukturen und Gesamtmittelwerte bei künstlicher Erwärmung $NT + \Delta t$ (dicke Linien) und bei Normaltemperatur NT (dünne Linien)

oberer Teil: VS4 K3; 10 + 10 Tage; $NT = 21^\circ\text{C}$ und $\Delta t = + 2^\circ\text{C}$

unterer Teil: VS5 K3; 10 + 10 Tage; $NT = 21^\circ\text{C}$ und $\Delta t = + 3^\circ\text{C}$

Ver- suchs- serie	Käfig- Nr.	NT + Δt (°C)	NT (°C)	Δt (°C)	Versuchs- dauer (Tage)	N_1	$\bar{x}_1$	$s_{x_1}^-$	N_2	$\bar{x}_2$	$s_{x_2}^-$	$\Delta \%$	t-Test p-Werte
1	6	23	21	2	10 + 11	240	3037	130	264	3018	130	+ 0,6	0,35
3	3	23	21	2	13 + 13	312	5656	130	312	5473	130	+ 3,3	0,06
4	3	23	21	2	10 + 10	240	3768	130	240	3782	85	- 0,4	0,82
5	3	24	21	3	10 + 10	240	3043	99	240	3048	96	- 0,2	0,96
6	2	26	22	4	Dieser Versuch wurde nicht gewertet, da die Versuchsreihe zeitlich desynchronisiert waren: eine Bildung von Mittelwerten war deshalb nicht sinnvoll.								

Tab. 3: Ergebnisse der Temperaturversuche

Linke Spalte: Versuchsserie und Käfig-Nr.: Lufttemperatur bei Erwärmung um Δt (°C) (NT + Δt) und Normal-Lufttemperatur (NT).

Mittlere Spalte: Versuchsdauer der jeweiligen Wirkabschnitte in Tagen; Zahl der beobachteten Stunden (N) und Gesamtmittelwerte ($\bar{x}$) mit ihren mittleren Fehlern ($s_{\bar{x}}$) am Tag; Tagen mit erhöhter Lufttemperatur NT + Δt (N_1 , $\bar{x}_1$, $s_{x_1}^-$) und Tagen mit der Ausgangslufttemperatur NT (N_2 , $\bar{x}_2$, $s_{x_2}^-$): Prozentuale Abweichung ($\Delta \%$) der Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ (= 100%).

Rechte Spalte: p-Werte für den verbundenen t-Test.

3.3.2 Tranquillantienversuche

Die Untersuchung der Wirkung von Diazepam (Valium^R) erfolgte in abgestufter Dosierung an drei Tierkollektiven. Bei der Festlegung der maximalen Wirkstoff-Tagesmenge orientierte ich mich an bekannten Dosis-Wirkungs-Beziehungen. Bei einer Valium^R-ED₅₀ von 25 mg/kg = 0,6 mg/25 g Maus beschrieben RANDALL et al. (42) bei oraler Einzelgabe ein Nachlassen der Fähigkeit bei der Maus, sich auf einer schrägen Fläche festzukrallen.

Als höchste Konzentration wurde mit Leitungswasser eine 20 mg%ige Valium^R-Lösung hergestellt, die den Mäusen als Trinkflüssigkeit gegeben wurde. Bei 4 ml durchschnittlicher Tages-Trinkmenge pro Maus wurden folglich ca. 0,8 mg Valium^R eingenommen. Die beiden niedrigeren Konzentrationen führten entsprechend zu 0,4 bzw. 0,1 mg aufgenommener Wirksubstanz (Tab. 4).

Dem bekannten hang-over der Tranquillantien wurde durch Abänderung des sonst üblichen Versuchsplanes Rechnung getragen, indem dem Valium^R-Tag (Verum-Tag) zwei Kontrolltage folgten. Der Wechsel der Trinkflüssigkeiten zwischen Wirkstoff-Tag und 1. Kontrolltag geschah stets um 12⁰⁰h.

Unter den gegebenen Versuchsbedingungen erbrachte Valium^R in seinen drei Konzentrationen im Prinzip ähnliche Effekte:

- am Verum-Tag war die motorische Aktivität übereinstimmend am niedrigsten
- der 1. Kontrolltag nach Verum ergab konsistent die höchsten Zählraten
- dazwischenliegende Werte zeigte der 2. Kontrolltag nach Verum.

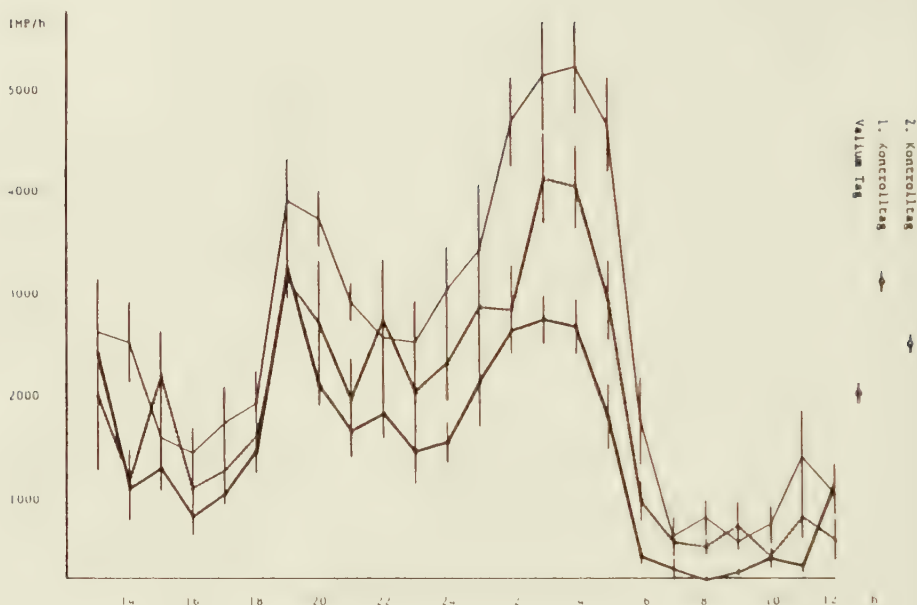


Abb. 13: Tranquillantienversuch (0,8 mg Valium^R/ Tag und Maus; VS1 K2).

Zeitliche Strukturen von jeweils sieben gemittelten Tagen. Die Stricharten bedeuten: — Valium^K-Tage, — 1. Kontrolltag und 2. Kontrolltage.

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}}$ in den genannten drei Zuständen.

Die hohe motorische Aktivität am 1. Kontrolltag, d.h. am Tage nach Substanzgabe, ist als rebound-Phänomen zu werten.

Valium^R beeinflusste in der mittleren Konzentration von 0,4 mg pro Tag und Maus die zeitliche Lage der Aktivitätsmaxima, die am Substanztag um zwei Stunden weiter auseinander lagen als am 1. Kontrolltag (Abb. 14). Die höchste (0,8 mg) und die niedrigste (0,1 mg) Valium^R-Tagesdosis ließen die zeitliche Struktur des Verum-Tages im Vergleich mit dem 1. und 2. Kontrolltag unverändert (Abb. 15 und 16).

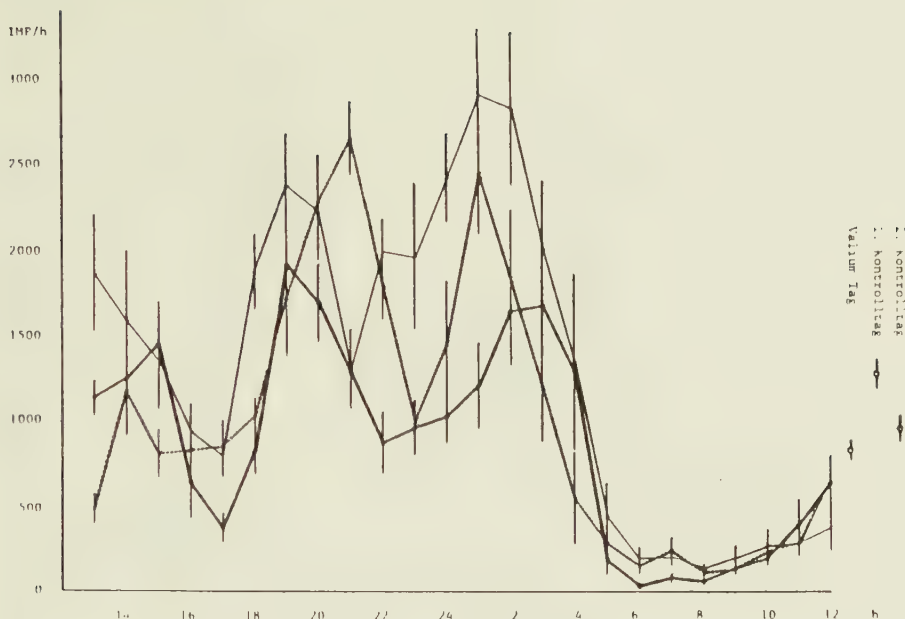


Abb. 14: Tranquillantienversuch (0,4 mg Valium^R/Tag und Maus); VSl Kl.

Zeitliche Struktur von jeweils sieben gemittelten Tagen. Die Strichstärken bedeuten: — Valium^R-Tage, - - - 1. Kontrolltage und 2. Kontrolltage.

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}}$ in den genannten drei Zuständen.

Das "Motilitätsniveau", d.h. die Lage der Motilitätsprofile über der Zeitachse, war in den drei durchgeführten Versuchen am Substanztag konsistent am niedrigsten. Der Vergleich der Gesamtmittelwerte der drei Einzelversuche bestätigt diesen Zusammenhang übereinstimmend.

Die Tab. 4 enthält die numerischen Versuchsergebnisse. Die statistische Analyse sicherte die folgenden Resultate: Die Gesamtmittelwerte $\bar{x}_2$ und $\bar{x}_3$ unterscheiden sich bei 0,8 und 0,4 mg Valium^R pro Tag und Maus im t-Test hochsignifikant ($p = 0,001$). Bei 0,1 mg, der niedrigsten aufgenommenen Wirkstoffmenge, ergab der t-Test

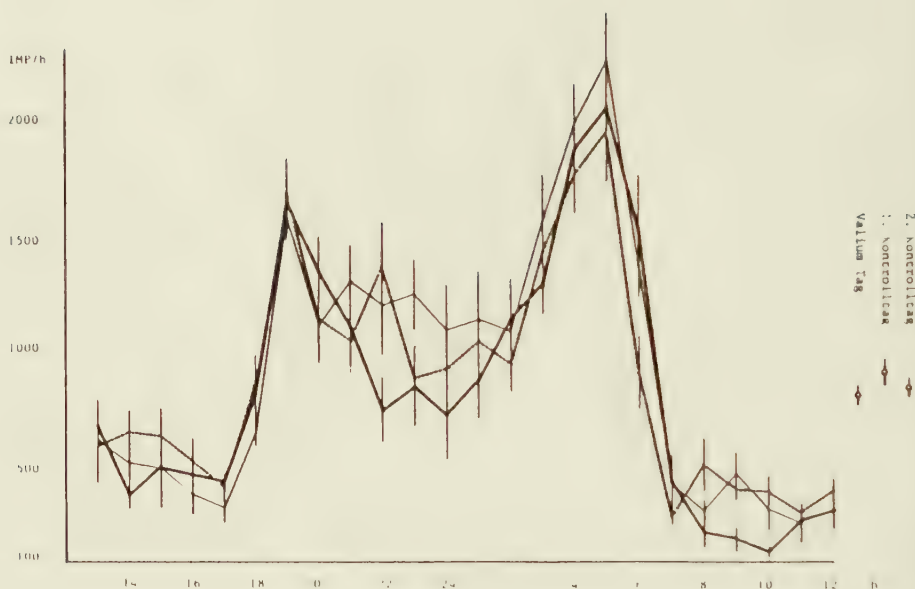


Abb. 15: Tranquillantienversuch (0,1 mg Valium^R/Tag und Maus); VS3 K1.

Zeitliche Struktur von jeweils neun gemittelten Tagen.

Die Strichstärken bedeuten: — Valium^R-Tage, - - - 1. Kontrolltage und 2. Kontrolltage.

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}}$ in den genannten drei Zuständen.

keine signifikante Differenz der Gesamtmittelwerte. Der deskriptiv auf gemittelte Stunden angewandte t-Test ergab bei 0,1 mg Valium^R (Abb. 15) nur für die 23⁰⁰h-Werte einen signifikanten Unterschied ($p \leq 0,03$). Daraus folgt, daß der Effekt von 0,1 mg Valium^R pro Tag und Maus statistisch nicht mehr sicher nachgewiesen werden konnte.

Das bedeutet, daß die Nachweisgrenze der angewandten Methode zwischen 0,1 und 0,4 mg Valium^R pro Tag und Maus liegt.

Ver- suchs- serie	Kä- fig- Tag/Maus (mg)	Valium/ Tag/Maus (mg)	Versuchs- dauer (Tage)	N_1	$\bar{x}_1$	$s_{x_1}^2$	N_2	$\bar{x}_2$	$s_{x_2}^2$	N_3	$\bar{x}_3$	$s_{x_3}^2$	$\Delta \%$	t-Test p-Werte
1	2	0,8	7 + 7 + 7	168	1440	86	168	2496	130	168	1882	110	+73,0	0,001***
1	1	0,4	7 + 7 + 7	168	868	60	168	1335	88	168	993	73	+53,0	0,001***
3	1	0,1	9 + 8 + 9	216	805	44	192	882	47	216	846	40	+ 9,5	0,14

Tab. 4: Ergebnisse der Tranquillantienversuche

Linke Spalte: Versuchsserie und Käfig-Nr.; Verabreichte Valiumtagesmenge pro Maus (mg).

Mittlere Spalte: Versuchsdauer der drei Wirkabschnitte in Tagen; Zahl der beobachteten Stunden (N) und Gesamtmittelwerte ($\bar{x}$) mit ihren mittleren Fehlern (s_x^2) an: Valiumtagen ($N_1, \bar{x}_1, s_{x_1}^2$), i. Kontrolltagen ($N_2, \bar{x}_2, s_{x_2}^2$) und 2. Kontrolltagen ($N_3, \bar{x}_3, s_{x_3}^2$); Prozentuale Abweichung ($\Delta \%$) der Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ (= 100%) und $\bar{x}_2$.

Rechte Spalte: p-Werte für den verbundenen t-Test.

3.4 Hauptversuche

3.4.1 Einfluß sinusförmiger, elektrischer Felder

3.4.1.1 Sinusförmiges elektrisches 50 Hz Feld, 1500 V/m

Die 50 Hz-Grundfrequenz der Netzspannung findet sich im elektromagnetischen Frequenzspektrum praktisch jedes geschlossenen Raumes mit Elektroinstallationen. Aufgrund ihrer weiten Verbreitung wurde der folgende Versuch durchgeführt:

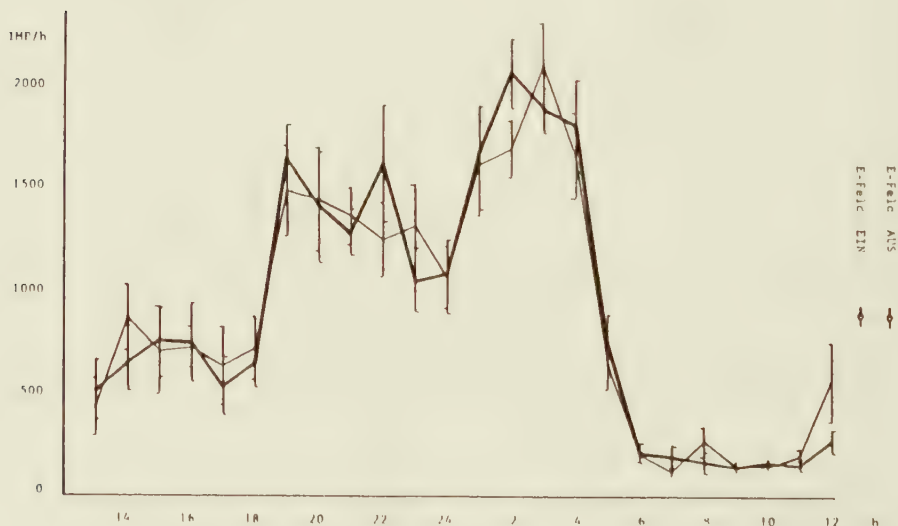


Abb. 16: Elektrisches 50 Hz Feld (1,5kV/m); VS2 K1.

Zeitliche Struktur von jeweils 10 Tagen mit (dicke Linie) und 9 Kontroll-Tagen ohne Feld (dünne Linie).

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}_1}$ und $s_{\bar{x}_2}$ in den beiden Zuständen.

Die Differenz $\Delta\%$ der Gesamtmittelwerte war + 0,1 %. Dieser geringe Unterschied konnte statistisch nicht abgesichert werden.

3.4.1.2 Sinusförmiges elektrisches 10 kHz Feld, 40 V/m

Da Frequenzen von Wechselfeldern bis in den Bereich von 100 kHz häufig in modernen Wohn- und Arbeitsbereichen vorkommen, wurde aus diesem Spektrum die Frequenz 10 kHz ausgewählt und im Versuch appliziert:



Abb. 17: Elektrisches 10 kHz Feld (40 V/m); VS2 K2.

Zeitliche Struktur von jeweils 10 Tagen mit (dicke Linie) und 9 Kontroll-Tagen ohne Feld (dünne Linie).

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}_1}$ und $s_{\bar{x}_2}$ in beiden Zuständen.

Der Gesamtmittelwertsunterschied $\Delta\%$ ist wieder sehr klein ($\sim 1\%$) und statistisch nicht signifikant. Der zeitliche Verlauf der Motorik ist an Wirk- und Kontrolltagen weitgehend gleich. Die mittleren Fehler der Mittelwerte trennen sich nur zu zwei Zeitpunkten (7⁰⁰ und 10⁰⁰ Uhr). Das bedeutet: Eindeutige Änderungen der Tiermotorik infolge von Feldeinfluß werden nicht beobachtet.

3.4.1.3 Sinusförmiges elektrisches 28 kHz Feld, 40 V/m

Die Frequenz 28 kHz hat in der Bio-Meteorologie eine Bedeutung als hypothetischer biotroper Wetter-Faktor erlangt und wurde u.a. deshalb experimentell untersucht:

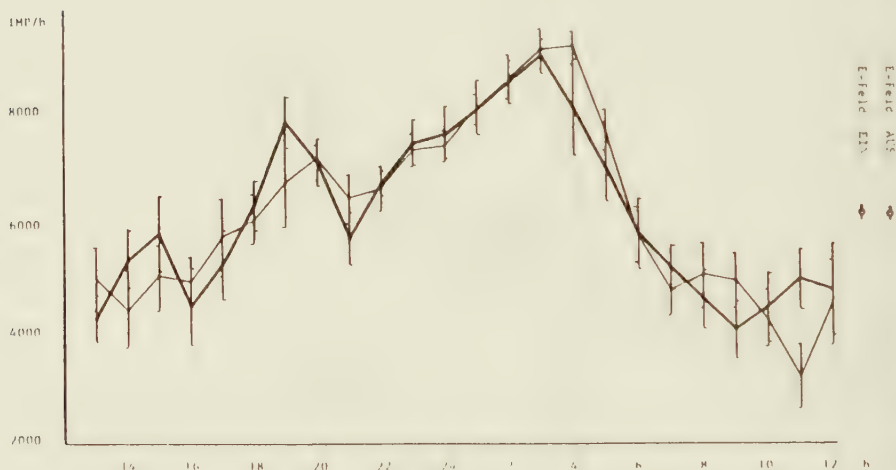


Abb. 18: Elektrisches 28 kHz Feld (40 V/m); VS2 K3.

Zeitliche Struktur von jeweils 10 Tagen mit (dicke Linie) und 9 Kontrolltagen ohne Feld (dünne Linie).

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}_1}$ und $s_{\bar{x}_2}$ in beiden Zuständen.

Der minimale, nicht signifikante Gesamtmittelwertsunterschied $\Delta\% = +0,3\%$ sowie die große Übereinstimmung der zeitlichen Strukturen der Motorik in den beiden Wirkabschnitten belegen die Wirkungslosigkeit des applizierten 28 kHz Feldes.

3.4.1.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der drei elektrischen Wechselfeldversuche

Die erhaltenen Resultate (Gesamtmittelwerte und Motilitätsprofile) lassen bei keinem der drei durchgeführten Experimente im intrakollektiven Vergleich eine elektrische Feldwirkung erkennen:

Die Unterschiede der Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ betragen jeweils ca. 1 - 2 % und sind im t-Test in keinem Falle signifikant.

Die Unterschiede in der zeitlichen Struktur der Motorik von Kontroll- zu Wirktagen sind ebenfalls nur unwesentlich.

Diese drei negativen Ergebnisse der Wirkversuche werden auch durch den parallel durchgeführten Kontrollversuch (VS2 K6; Tab. 7) gestützt: Sein Ergebnis stimmt weitgehend mit dem Ergebnis der elektrischen Wechselfeld-Versuche überein.

Bei den beobachteten Abweichungen der Gesamtmittelwerte und der Motilitätsprofile muß es sich im Falle der Feldversuche folglich jeweils um ein Zufallsergebnis handeln.

Ver- suchs- serie	Kä- fig Nr.	Frequenz (Hz)	Feld- stärke (V/m)	Versuchs- dauer (Tage)	N_1	$\bar{x}_1$	$s_{\bar{x}_1}$	N_2	$\bar{x}_2$	$s_{\bar{x}_2}$	$\Delta \bar{x}$	t-Test p-Werte
2	1	50	1500	10 + 9	240	889	50	216	888	52	+ 0,1	0,664
2	2	10^4	40	10 + 9	240	1825	78	216	1843	85	- 1,0	0,587
2	3	$2,8 \times 10^4$	40	10 + 9	240	6001	140	216	5985	140	+ 0,3	0,754

Tab. 5: Ergebnisse der elektrischen Wechselfeldversuche

Linke Spalte: Versuchsserie und Käfig-Nr.: Frequenzen und Feldstärken der applizierten Felder.

Mittlere Spalte: Versuchsdauer der zwei Wirkabschnitte in Tagen; Zahl der beobachteten Stunden (N)

und Gesamtmittelwerte ($\bar{x}$) mit ihren mittleren Fehlern ($s_{\bar{x}}$) an: Tagen mit Feldein-
fluß (N_1 , $\bar{x}_1$, $s_{\bar{x}_1}$) und Kontrolltagen (N_2 , $\bar{x}_2$, $s_{\bar{x}_2}$); Prozentuale Abweichung ($\Delta \bar{x}$)
der Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ (= 100 %).

Rechte Spalte: p-Werte für den verbundenen t-Test.

3.4.2 Einfluß magnetischer Wechselfelder

Die durchgeführten Magnetfeldversuche gliedern sich in vier Gruppen, die nach Feldparametern geordnet sind:

3.4.2.1 sinusförmiges 50 Hz Magnetfeld

3.4.2.2 sinusförmiges 10 kHz Magnetfeld

3.4.2.3 sinusförmiges 28 kHz Magnetfeld

3.4.2.4 gleichgerichtetes 50 Hz Feld (Halbwelle).

Die zur Erzeugung dieser Felder verwendeten Generatoren und Spulen sind im Abschnitt 2.4 beschrieben. Die Tabelle 6 führt in der 2. und 3. Spalte die applizierten Magnetfeld-Parameter auf. Die Größe der induzierten elektrischen Felder ist der Tabelle 2 zu entnehmen. Die Abbildungen 19 bis 26 zeigen die erhaltenen Motilitätsprofile mit Gesamtmittelwerten und Streuungen. Die Tabelle 6 gibt eine zahlenmäßige Gesamtdarstellung der Versuchsergebnisse.

3.4.2.1 Sinusförmiges 50 Hz Magnetfeld, 1 mT

Von der Grundfrequenz der Netzspannung wurde - neben der unter 3.4.1 abgehandelten elektrischen Feldstärke - auch die magnetische Komponente auf ihre biologischen Eigenschaften geprüft:

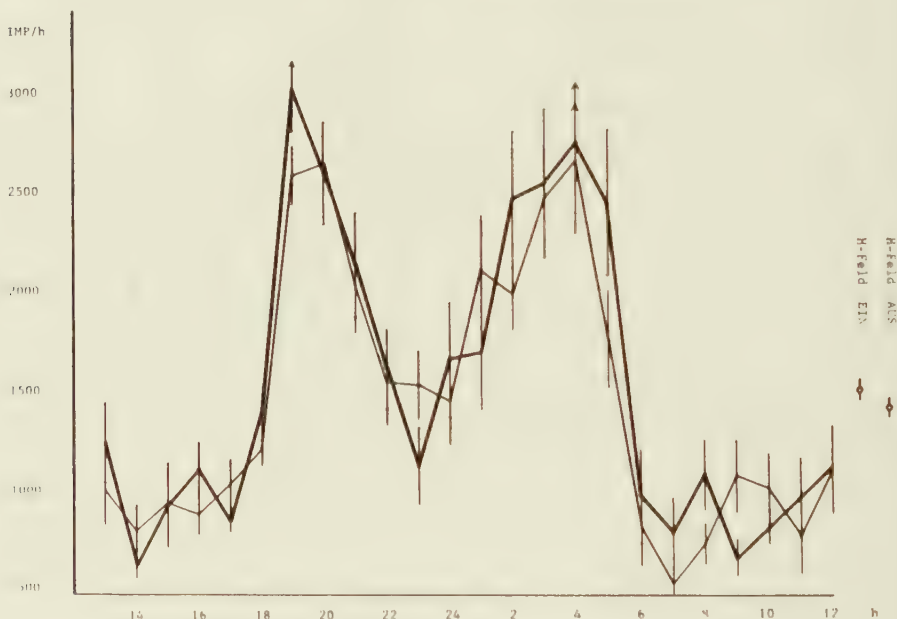


Abb. 19: Magnetfeld 50 Hz sinus, 1 mT; VS3 K2.

Mittlere zeitliche Struktur von 10 Tagen mit (dicke Linie) und 10 (Kontroll-) Tagen ohne Feld (dünne Linie).

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}_1}$ und $s_{\bar{x}_2}$ in beiden Zuständen.

Die Gesamtmittelwerte differieren um $\Delta\% = + 5,5\%$ (Tab. 6). Im t-Test war diese geringe Erhöhung der Motorik unter Feldbedingungen gegenüber den Kontrollbedingungen nicht signifikant ($p = 0,428$).

Die Polygone trennen sich zu folgenden Zeitpunkten: 19°, 23°, 5°, 8° und 9° h. Zur Überprüfung der Frage, ob die in diesem

ersten Versuch zur Wirkung des 50 Hz, 1 mT Feldes beobachteten Trennungen der Kurven zufällig oder systematisch bedingt waren, wurde ein Wiederholversuch angeschlossen:

3.4.2.1.1 1. Wiederholversuch zur Wirkung des 50 Hz, 1 mT Feldes

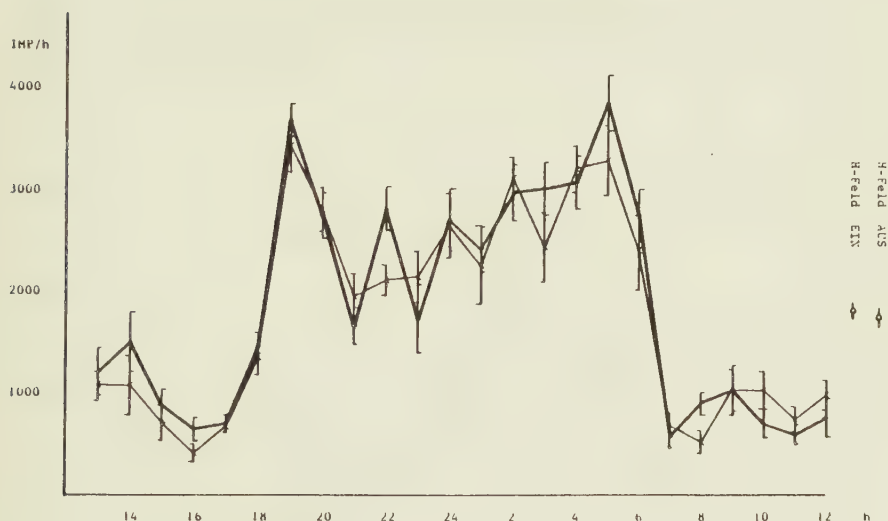


Abb. 20: 1. Wiederholversuch zur Wirkung des 50 Hz, 1 mT Feldes; VS4 K2.

Mittlere zeitliche Struktur von 10 Tagen mit (dicke Linie) und 10 (Kontroll-) Tagen ohne Feld (dünne Linie).

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}_1}$ und $s_{\bar{x}_2}$ in beiden Zuständen.

Die Gesamtmittelwerte differieren um $\Delta\% = +5,3\%$. Diese Erhöhung der Motorik unter Feldbedingungen war im t-Test nicht signifikant ($p = 0,176$). Die zeitliche Struktur der Motorik in Abb. 20 ist in beiden Wirkabschnitten sehr ähnlich: Trennungen der Polygone um

mehr als den mittleren Fehler werden lediglich um 22° und 8° h beobachtet.

Aus dem Versuch ergeben sich keine Hinweise auf eine Feldwirkung.

Zur Absicherung dieses zweiten negativen Ergebnisses wurde ein abschließender Versuch bei der Frequenz 50 Hz mit der Feldstärke 1 mT durchgeführt.

3.4.2.1.2 2. Wiederholversuch zur Wirkung des 50 Hz, 1 mT Feldes

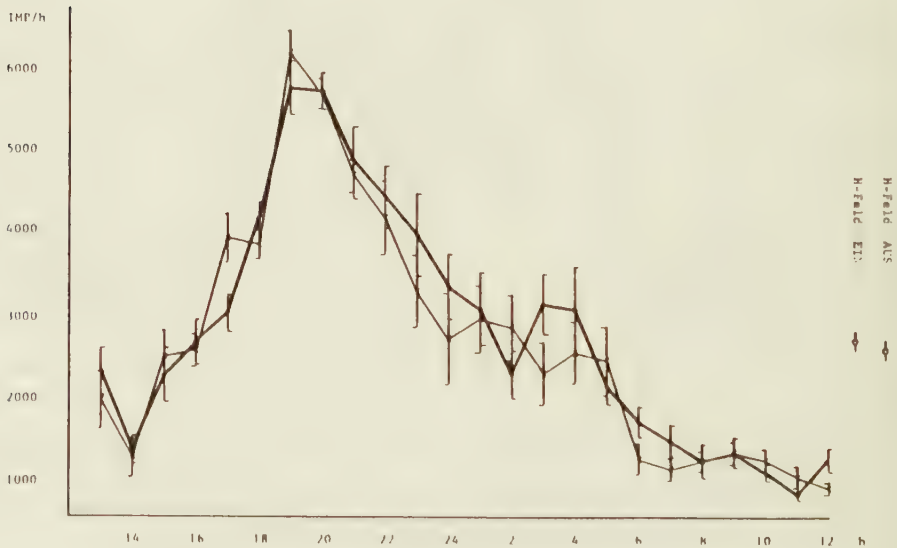


Abb. 21: 2. Wiederholversuch zur Wirkung des 50 Hz, 1 mT Feldes; VS5 K2.

Mittlere zeitliche Struktur von 13 Tagen mit (dicke Linie) und 12 Tagen ohne Magnetfeld (dünne Linie).

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}_1}$ und $s_{\bar{x}_2}$ in beiden Zuständen.

Der zweite Wiederholversuch zur 50 Hz, 1 mT Feldwirkung ergab im Vergleich zu den zwei Vorversuchen keine grundsätzlich neuen Ergebnisse. Die Gesamtmittelwerte differieren um + 3,9 %. Dieser Unterschied ist im t-Test nicht signifikant ($p = 0,235$). Die beiden Kurvenzüge verlaufen unter Feld- und Kontrollbedingungen zu den meisten Zeitpunkten innerhalb ihrer gemeinsamen Streuungen. Der simultan durchgeführte Kontrollversuch (VS5 Kl; Abb. 28; Tab.7) hatte bezüglich der Differenz der Gesamtmittelwerte und der Häufigkeit der Abweichungen der beiden Kurvenzüge ein praktisch gleiches Ergebnis.

3.4.2.1.3 Sinusförmiges 50 Hz, 2,2 mT Magnetfeld

In diesem Versuch sollte geklärt werden, ob eine Erhöhung der magnetischen Feldstärke von 1 mT auf 2,2 mT (bei der unverändert beibehaltenen Frequenz von 50 Hz) einen Einfluß auf die Tiermotorik hätte.

Nach einer Versuchsdauer von 26 Tagen ergab der Vergleich der Gesamtmittelwerte einen signifikanten Unterschied ($p = 0,012$) (siehe Tab. 6). Die unter Feldbedingungen um 10 % erhöhte Tieraktivität zeigte sich auch deutlich in den Motilitätsprofilen: Hier lag die motorische Aktivität im Feld-EIN-Zustand zwischen 21° und 6° Uhr stets höher als unter Kontrollbedingungen (Abb. 22). Beide Kurvenzüge verlaufen während dieser 10 Stunden innerhalb ihrer gemeinsamen Streuungen. Der auf diese 10 Paardifferenzen von gemittelten Stundenwerten deskriptiv angewandte t-Test ergab jedoch allein für die 2° Uhr-Werte einen signifikanten Unterschied ($p = 0,04$).

Zur Frage, ob es sich bei dem Versuchsergebnis um den gültigen

Nachweis einer Feldwirkung handelt, wird auf den Diskussionsteil der Arbeit verwiesen.

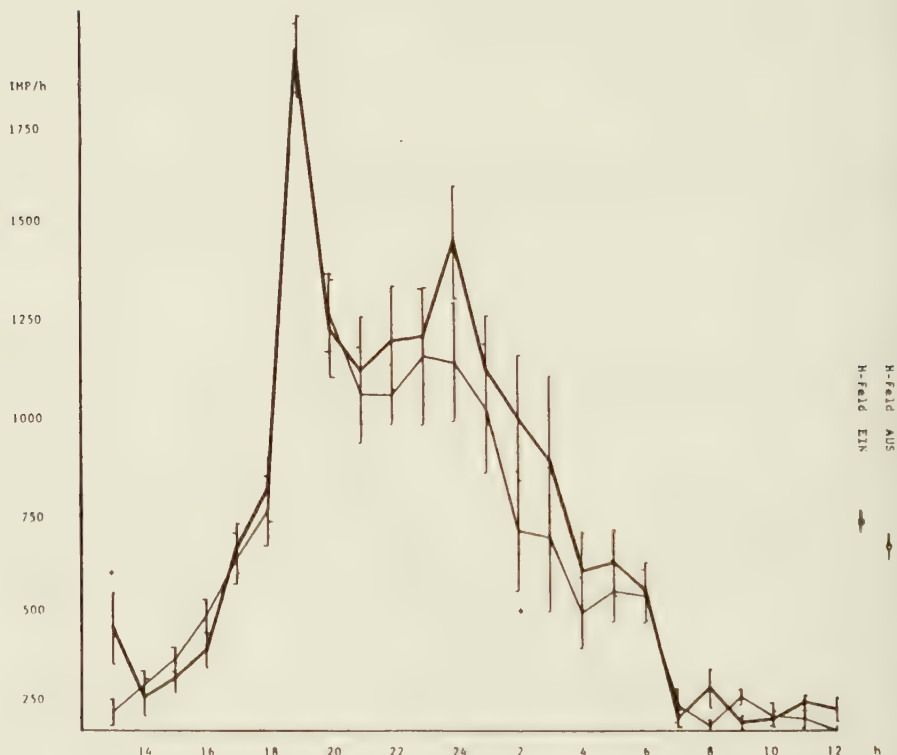


Abb. 22: Sinusförmiges 50 Hz, 2,2 mT Magnetfeld;
VS6 K5.

Mittlere zeitliche Struktur von 13 Tagen mit (dicke Linie) und 13 (Kontroll-) Tagen ohne Magnetfeld (dünne Linie).

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}_1}$ und $s_{\bar{x}_2}$ in beiden Zuständen.

3.4.2.2 Sinusförmiges 10 kHz, 0,15 mT Magnetfeld

Durch die Sferic-Forschung hat die Frequenz 10 kHz als hypothetischer biotroper Wetterfaktor an Interesse gewonnen und wurde deshalb experimentell untersucht:



Abb. 23: Sinusförmiges 10 kHz Magnetfeld, 0,15 mT;
VS5 K4.

Mittlere zeitliche Struktur von 12 Tagen mit (dicke Linie) und 13 (Kontroll-) Tagen ohne Magnetfeld (dünne Linie).
Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}_1}$ und $s_{\bar{x}_2}$ in beiden Zuständen.

Unter den bestehenden Versuchsbedingungen läßt sich keine Wirkung des 10 kHz Feldes feststellen: Der Unterschied der Gesamtmittelwer-

te (Tab. 6) ist nicht signifikant ($p = 0,524$) und die zeitliche Struktur der Motorik (Abb. 23) in beiden Wirkabschnitten sehr ähnlich. Zu fünf Zeitpunkten weichen die Polygone um mehr als ihre mittleren Fehler auseinander (Abb. 23). Im simultan durchgeführten Kontrollversuch (VS5 K1; Abb. 28) werden jedoch vier solcher "Trennungen" der Motilitätsprofile beobachtet.

3.4.2.3 Sinusförmiges 28 kHz, 0,05 mT Magnetfeld

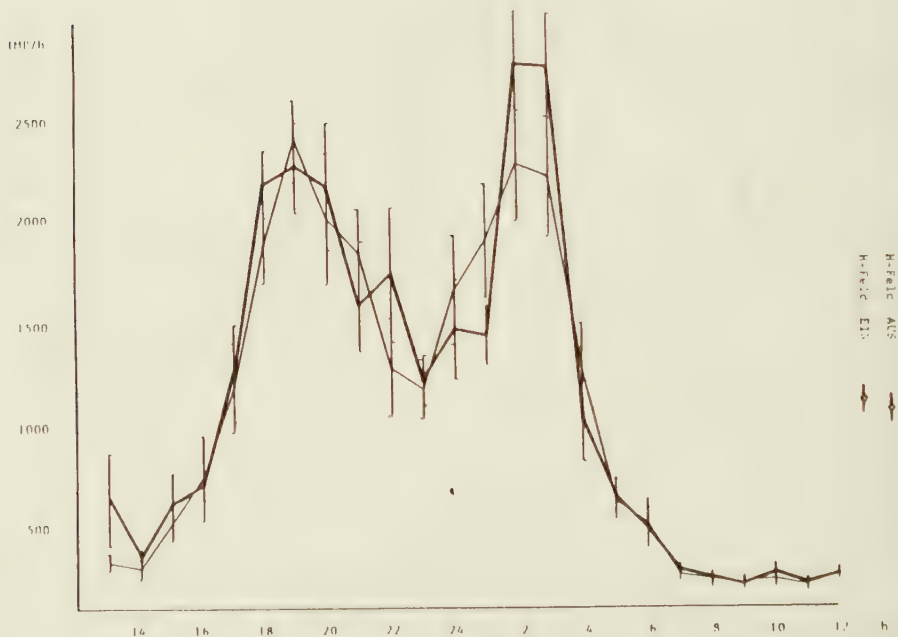


Abb. 24: Sinusförmiges 28 kHz, 0,05 mT Magnetfeld; VS6 K4.

Mittlere zeitliche Struktur von 13 Tagen mit (dicke Linie) und 13 (Kontroll-) Tagen ohne Magnetfeld (dünne Linie).

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}_1}$ und $s_{\bar{x}_2}$ in beiden Zuständen.

Aus den gleichen Gründen, die unter 3.4.2.2 für die Untersuchung der Frequenz 10 kHz angeführt wurden, fand auch die Prüfung der Frequenz 28 kHz auf ihre biologische Wirkung statt.

Das erhaltene Versuchsergebnis (Abb. 26; Tab. 6) läßt keine systematische Wirkung des applizierten Feldes erkennen. Der Gesamtmittelwertsunterschied $\Delta\%$ war mit + 5,0 % relativ klein und im t-Test nicht signifikant ($p = 0,325$).

Mit Ausnahme der 13⁰⁰ und 1⁰⁰ Uhr-Werte verlaufen die Motilitätsprofile innerhalb ihrer eigenen Streuungen. Im simultan durchgeführten (unbeeinflussten) Kontrollversuch wurden sogar sieben Abweichungen von gemittelten Stundenwerten um mehr als ihre mittleren Fehler beobachtet (VS6 K6; Abb. 28).

3.4.2.4 Gleichgerichtetes 50 Hz Magnetfeld (Halbwelle)

Diese spezielle Feldform wurde abschließend tierexperimentell geprüft, da sie von verschiedenen Herstellern medizinischer Geräte zu therapeutischen Zwecken propagiert wird und bei ihr infolgedessen besonders deutliche Effekte möglich schienen.

Die Motilitätsprofile der nachfolgenden Abbildung 25 lassen keine auffälligen Unterschiede der zeitlichen Strukturen der Motorik in den beiden Wirkabschnitten erkennen. Die vier beobachteten Abweichungen der gemittelten Stundenwerte um mehr als die mittleren Fehler müssen - im Vergleich mit dem simultanen Kontrollversuch - als zufällig bezeichnet werden: In diesem Kontrollversuch trennen sich die Motilitätsprofile sogar zu sechs Zeitpunkten um mehr als die mittleren Fehler (VS4 K6; Abb. 27)!

Die Erhöhung der Motorik im Feld EIN Zustand um $\Delta\% = + 6,7\%$ war nicht signifikant ($p = 0,114$).

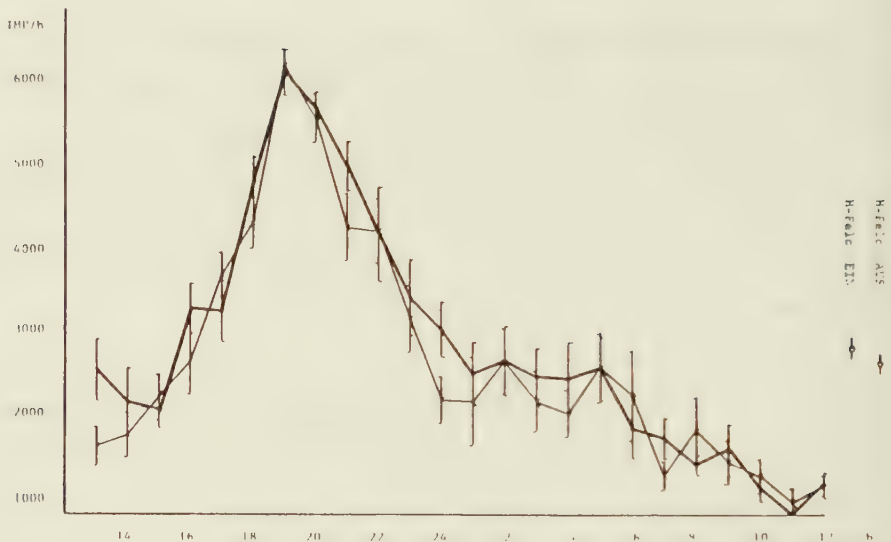


Abb. 25: Gleichgerichtetes 50 Hz Magnetfeld (Halbwelle);
VS4 K5.

Mittlere zeitliche Struktur von 12 Tagen mit (dicke Linie) und 12 Tagen ohne Feld (dünne Linie).

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}_1}$ und $s_{\bar{x}_2}$ in beiden Zuständen.

3.4.2.4.1 1. Wiederholversuch zur Wirkung des gleichgerichteten 50 Hz Magnetfeldes (Halbwelle)

Im Unterschied zum Vorversuch wurde in diesem Versuch (Tab. 6) unter Feldbedingungen eine erniedrigte Motorik - bezogen auf die Gesamtmittelwerte - von $\Delta\%$ - 5,8 % gefunden. Diese Differenz der Gesamtmittelwerte war im t-Test nicht signifikant ($p = 0,263$). Die zeitliche Struktur der Motorik (Abb. 26) war in beiden Wirkabschnitten wiederum sehr ähnlich. Es gab nur zwei Trennungen der gemittelten Stundenwerte (15⁰⁰ und 17⁰⁰ Uhr) um mehr als die Summe

ihrer mittleren Fehler.

Nach den angewandten Auswertekriterien war folglich eine Wirkung des gleichgerichteten Magnetfeldes auch im Wiederholversuch nicht feststellbar.

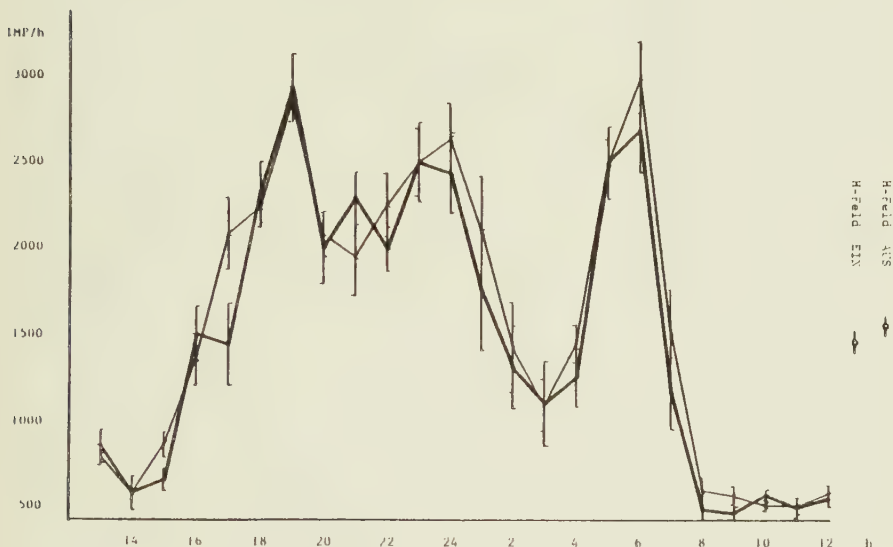


Abb. 26: Erster Wiederholversuch zur Wirkung des gleichgerichteten 50 Hz Magnetfeldes (Halbwelle); VS5 K5.

Mittlere zeitliche Struktur von 12 Tagen mit (dicke Linie) und 13 (Kontroll-) Tagen ohne Feld (dünne Linie).

Rechts: Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ mit ihren mittleren Fehlern $s_{\bar{x}_1}$ und $s_{\bar{x}_2}$ in beiden Zuständen.

Ver- suchs- serie	Kä- fig- Nr.	Frequenz (Hz)	Feld- stärke (mT)	Feld- form	Versuchs- dauer (Tage)	N_1	$\bar{x}_1$	$s_{x_1}^2$	N_2	$\bar{x}_2$	$s_{x_2}^2$	$\Delta \%$	t-Test p-Werte
3	2	50	1,0	~	10 + 10	240	1589	70	240	1506	60	+ 5,5	0,428
4	2	50	1,0	~	12 + 12	288	1848	76	288	1755	75	+ 5,3	0,176
5	2	50	1,0	~	13 + 12	312	2836	110	288	2729	110	+ 3,9	0,235
6	5	50	2,2	~	13 + 13	312	731	34	312	667	52	+10,0	0,012 **
5	4	10^4	0,15	~	12 + 13	288	3422	150	312	3252	140	+ 5,2	0,524
6	4	$2,8 \times 10^4$	0,05	~	13 + 13	312	1120	59	312	1067	59	+ 5,0	0,325
4	5	50	0,5	~	12 + 12	288	2790	110	288	2616	110	+ 6,7	0,114
5	5	50	0,5	~	12 + 13	288	1485	60	312	1577	58	- 5,8	0,263

Tab. 6: Ergebnisse der Magnetfeldversuche

Linke Spalte: Versuchsserie und Käfig-Nr.: Feldparameter der applizierten Felder.

Mittlere Spalte: Versuchsdauer der zwei Wirkabschnitte in Tagen: Zahl der beobachteten Stunden (N) und Gesamtmittelwerte ($\bar{x}$) mit ihren mittleren Fehlern (s_x^2) an: Tagen mit Feldeinfluß (N_1 , $\bar{x}_1$, $s_{x_1}^2$) und Kontrolltagen (N_2 , $\bar{x}_2$, $s_{x_2}^2$): Prozentuale Abweichung ($\Delta \%$) der Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ (= 100%).

Rechte Spalte: p-Werte für den verbundenen t-Test.

3.5 Unbeeinflusste Messungen - Kontrollversuche

Bis zu sechs simultan durchgeführte Einzelversuche bildeten eine Versuchsserie (VS). Davon waren drei bis vier (Wirk-) Käfige feld-exponiert oder anders beeinflusst, während wenigstens ein Tierkollektiv als Kontroll-Kollektiv diente. Die Auswertung eines Kontrollversuches erfolgte nach dem beschriebenen Schema (Abb. 9). Diese unbeeinflusste Messung wurde simultan zum Feld EIN- bzw. zum Feld AUS Zustand ausgewertet.

Das Kontrollversuchsergebnis konnte als das Maß für die Variabilität der Motorik innerhalb der jeweiligen Versuchsserie betrachtet werden.

Die Streuungen, die bei den Gesamtmittelwerten der Kontrollversuche auftraten, geben betragsmäßig den Versuchsfehler an. Die Streuungen resultierten sowohl aus den endogenen Schwankungen im Tag-Nacht-Aktivitätsrhythmus der Mäuse, als auch aus Schwankungen in der Tages-Grund-Aktivität im Längsschnitt eines (durchschnittlich dreiwöchigen!) Versuchs (Abb. 8).

Da die Konstanz der Versuchsnebenbedingungen sorgfältig kontrolliert und eingehalten wurde, und die Ursache(n) der beschriebenen Tages-Grund-Aktivitätsschwankungen (Abb. 8) der Balb-C-Mäuse letztlich unbekannt war(en), konnte diese Variabilität der Tier-Motorik weder durch Abänderungen im Versuchsaufbau oder -ablauf verkleinert werden, noch konnten rechnerische Korrekturen der gemessenen Motilitätswerte vorgenommen werden.

Die Abbildungen 27 und 28 zeigen beispielhaft die Ergebnisse von vier Kontrollversuchen; im Falle der Abbildung 27 handelt es sich um eine Parallelmessung zweier Kontrollversuche.

Man erkennt als Grundmuster der nächtlichen Aktivitätsphase die Bigeminusform (4). Da Mäuse dunkelaktiv sind, liegt das erste Aktivitäts-Maximum zu Beginn der Dunkelheit; ein Nebenmaximum folgt vor Beginn der Lichtzeit. Diesem Grundmuster ist ein kollektivspezifisches Muster Überlagert.

In den abgebildeten vier Kontrollversuchen erkennt man einen Versuchsleitereffekt, der sich ebenfalls in den beeinflussten Versuchen zeigt. Der Effekt betrifft praktisch alle Versuche und resultiert in einem sprunghaften Anstieg der Motorik zwischen 12⁰⁰ Uhr und 13⁰⁰ Uhr. Da Mäuse zu den dunkelaktiven Tieren gehören (4), kann angenommen werden, daß der beschriebene Motilitäts-Anstieg gegen Mittag für die Versuchstiere unphysiologisch ist. Der Grund für die beobachtete Wirkung waren u.a. Wartungsarbeiten an den Versuchsaufbauten, die täglich um 12⁰⁰ Uhr vorgenommen wurden.

Zusätzlich zeigen drei der vier Motilitätsprofile von Kontrollversuchen (Abb. 27 und 28), daß an den Wirktagen (dicke Linie) zwischen 12⁰⁰ und 17⁰⁰ Uhr mehr Motorik bestand als an den unbeeinflussten Tagen. Das hat mit hoher Wahrscheinlichkeit den folgenden Grund: An den Wirktagen wurden die felderzeugenden Apparaturen eingeschaltet und ihr Funktionieren durch Messung überprüft - was an den Kontrolltagen nicht zu geschehen pflegte.

Es war auffällig, daß die prozentualen Differenzen der Gesamtmittelwerte ($\Delta\%$) bei allen Kontrollversuchen, die simultan zu elektrischen- oder magnetischen Feldversuchen durchgeführt wurden, konsistent positiv waren. Das bedeutet - gemeinsam mit der Beobachtung daß auch bei Feldversuchen (mit einer Ausnahme) stets ein positives $\Delta\%$ vorkam - daß die Versuchstiere an den Feld-EIN-Tagen in der Wirkkäfigen UND den Kontrollkäfigen durchschnittlich motorisch aktiver waren, als an den Feld-AUS-Tagen. Die Bedeutung dieser Auffälligkeit für die Versuchsergebnisse wird im Diskussionsteil behandelt.



Abb. 27: Kontrollversuche (Parallelmessung)

Zeitliche Strukturen und Gesamtmittelwerte von Tagen simultan zum Feld-EIN-Zustand (dicke Linien) und zum Feld-AUS-Zustand (dünne Linien).
 Oberer Teil: VS4 K1; 12 + 12 Tage. Unterer Teil: VS4 K6; 12 + 12 Tage.

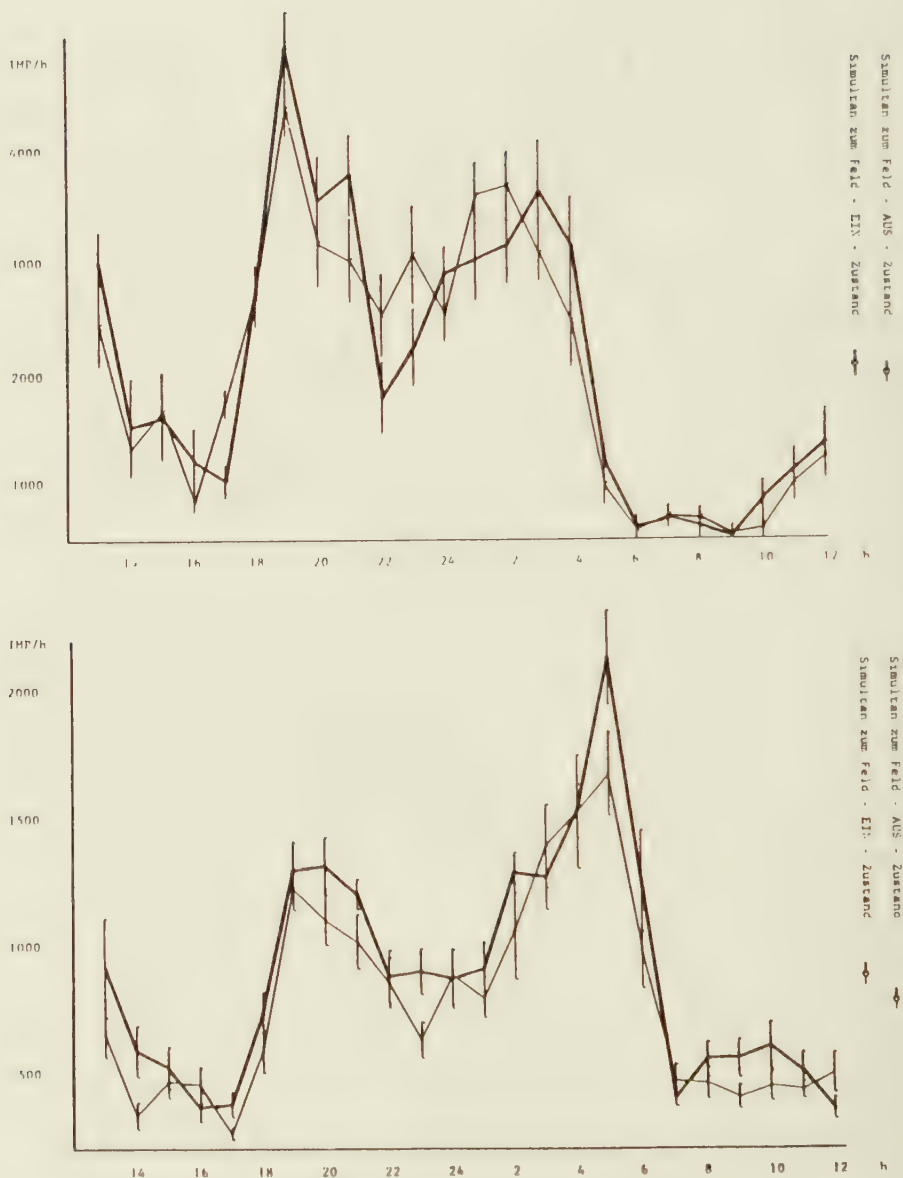


Abb. 28: Kontrollversuche

Zeitliche Strukturen und Gesamtmittelwerte von Tagen simultan zum Feld EIN-Zustand (dicke Linien) und zum Feld-AUS-Zustand (dünne Linien).
 Oberer Teil: VS5 K1; 11 + 12 Tage. Unterer Teil: VS6 K6; 13 + 13 Tage

Ver- suchs- serie	Kä- fig- Nr.	Versuchs- dauer (Tage)	N_1	$\bar{x}_1$	$s_{\bar{x}_1}^2$	N_2	$\bar{x}_2$	$s_{\bar{x}_2}^2$	$\Delta \%$	t-Test p-Werte
1	3	10 + 11	240	1068	48	264	1105	50	- 3,4	0,351
2	6	10 + 9	240	2444	110	216	2400	110	+ 1,8	0,992
3	6	Kontrollversuch wegen entlaufener Maus nicht verwertbar.								-
4	1	12 + 12	288	2442	99	288	2420	99	+ 0,5	0,455
4	6	12 + 12	288	2165	75	288	2153	73	+ 0,6	0,860
5	1	11 + 12	264	2070	95	288	2004	86	+ 3,4	0,401
6	6	13 + 13	312	889	33	312	777	31	+ 14,4	0,060

Tab. 7: Ergebnisse der unbeeinflussten Messungen - Kontrollversuche

Linke Spalte: Versuchsserie und Käfig-Nr.

Mittlere Spalte: Versuchsdauer der zwei Kontrollabschnitte in Tagen; Zahl der beobachteten Stunden (N) und Gesamtmittelwerte ($\bar{x}$) mit ihren mittleren Fehlern ($s_{\bar{x}}$) an Tagen simultan zum Feldeinfluß ($N_1, \bar{x}_1, s_{\bar{x}_1}^2$) und Tagen simultan zum feldlosen Zustand ($N_2, \bar{x}_2, s_{\bar{x}_2}^2$); Prozentuale Abweichung ($\Delta \%$) der Gesamtmittelwerte $\bar{x}_1$ und $\bar{x}_2$ (= 100%).

Rechte Spalte: p-Werte für den verbundenen t-Test.

3.6 Methodische Probleme und Verbesserungsvorschläge

Als wichtigstes Ziel sollte in den Folgeversuchen eine Verringerung des Versuchsfehlers angestrebt werden. In den vorliegenden Versuchen ist die Streubreite bei den Gesamtmittelwerten und gemittelten Stundenwerten relativ groß: So beträgt der 1σ -Bereich z.B. in VS4 K6 (Abb. 8) ca. $\pm 10\%$ vom Gesamtmittelwert der 24tägigen Meßreihe. In dieser Streuung spiegelt sich auch die hohe Veränderlichkeit der Tages-Grundaktivität (Abb. 8). Die Optimierung der angewandten Methodik sollte daher m.E. nach an diesem Punkte, d.h. am biologischen System, beginnen.

Durch Verringerung der Käfigbesatzdichte, durch Verwendung anderer Versuchstierarten etc. ließe sich die Meßunsicherheit wahrscheinlich verringern. ASCHOFF (5) empfiehlt für Langzeitversuche, bei denen die motorische Aktivität die Meßgröße ist, männliche Goldhamster in Einzelhaltung.

Eine möglichst vollkommene Gleichbehandlung der Versuchstiere während der verschiedenen Wirkabschnitte sollte angestrebt werden.

Das Versuchsdesign der vorliegenden Arbeit basiert auf der Vorstellung, daß die untersuchten Feldwirkungen akut einsetzen und rasch abklingen. ON-OFF-Versuche mit täglichem Wechsel maskieren Effekte mit langsamer Anstiegs- und Abklingzeit. Dieser Tatsache sollte in den Folgeversuchen durch Änderung der Versuchsdurchführung und des Auswerteschemas Rechnung getragen werden, da verzögerte Effekte ebenfalls möglich erscheinen (s. hangover- bzw. rebound-Effekte bei den Tranquillantienversuchen unter Punkt 3.3.2).

4. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Nachdem durch einen Methodenvergleich die Zuverlässigkeit der gemessenen Motilitätswerte nachgewiesen war, konnte die Empfindlichkeitsbestimmung der angewandten Methodik durch die Applikation schwacher thermischer Einflußgrößen und durch drei Wirkstoffkonzentrationen des Tranquillantiums Valium^R vorgenommen werden.

Die größte applizierte Temperaturdifferenz in den durchgeführten fünf Einzelversuchen betrug 4°C. In keinem dieser Versuche wurde eine statistisch signifikante Temperatur-Wirkung nachgewiesen: Unter den gegebenen Versuchsbedingungen zeigte sich die Motorik der Albinomäuse völlig temperaturunabhängig.

Dieses Ergebnis wird durch Arbeiten STEVENSONs und RIXONs gestützt (51). Diese Autoren exponierten artverwandte Ratten für jeweils einen Monat verschiedenen Umgebungstemperaturen von 5° C bis 33° C. Sie fanden, daß die in Laufkäfigen gemessene Grobmotorik bei Umgebungstemperaturen von 15, 22 und 27° C nahezu identisch ist. Diese Arbeit läßt auf eine hohe thermische Adaptationsfähigkeit der Ratte und der artverwandten Maus schließen.

In den durchgeführten Versuchen Temperatur-Versuchen waren meßbare Effekte nur unter den Voraussetzungen zu erwarten, daß

- thermisch induzierte Motilitätsänderungen der Balb-C-Mäuse bei derartig kleinen Temperaturwirkgrößen überhaupt vorkommen und
- die Empfindlichkeit der angewandten Methodik über derjenigen von STEVENSON und RIXON läge.

Da in dem von mir untersuchten Temperaturbereich keinerlei Effekte gefunden wurden, kann auch nicht entschieden werden, ob beide der genannten Voraussetzungen oder eine von ihnen nicht erfüllt waren.

Jedoch ließ sich das Arbeitsergebnis von ELSSER (19), die unter Verwendung desselben Aktographen bei einer Anhebung der Käfigtemperatur von 25,0 auf 26,5° C eine Verminderung der Motorik der Balb-C-Mäuse um 24 % (1) angibt, nicht bestätigen. Nach KRÜLING (32) ist ihr scheinbarer biologischer Temperatur-Effekt wahrscheinlich auf eine unzureichende thermische Abschirmung des Meßfühlers, der als elektrisch beheizter Thermistor arbeitet, zurückzuführen.

Da der thermischen Wirkgröße eine bedeutende Rolle als kausales Glied zwischen den atmosphärischen Vorgängen und den biologischen Reaktionen zuerkannt wird (17), sind weitere Versuche zur Klärung ihrer klimatischen Relevanz wichtig (18).

Wäre die Temperatur als bedeutsame biologische Einflußgröße unbekannt, so könnte auf Grund der vorliegenden Temperaturversuche der voreilige und falsche Schluß gezogen werden, die Temperatur hätte keinen Einfluß auf biologische Prozesse. Im Vorgriff auf die Diskussion der elektrischen- und magnetischen Feldversuche, in denen ebenfalls keine Wirkung der applizierten Größen gefunden wurde, möchte ich darauf hinweisen, daß die Negativaussagen in den Temperatur- und Feldversuchen nur für das gewählte Versuchsdesign gelten.

Die Negativ-Aussagen dieser Versuche lassen grundsätzlich folgende Interpretationsmöglichkeiten offen:

- Die Wirkgröße ist tatsächlich unwirksam.
- Die Meßgröße "motorische Aktivität" ist zum Nachweis der Wirkgröße ungeeignet.
- Zwar ist die Meßgröße geeignet - die Empfindlichkeit der Methode ist jedoch zu gering; mit einem optimierten Versuchsdesign ließen sich in diesem Falle Effekte nachweisen.

Die grundsätzliche Brauchbarkeit der angewandten Motilitätsmeß-Methodik wurde mit der Applikation des Tranquillantiums Diazepam (Valium^R) nachgewiesen.

Bekannte Dosis-Wirkungs-Beziehungen des Pharmakons, die für die Albinomaus gültig sind, konnten der Literatur entnommen werden (42). Diese Angaben ermöglichten für den Wirkstoff einen Empfindlichkeitsvergleich zwischen in der Pharmakologie routinemäßig benutzten Verfahren (Tab. 8) und dem hier angewandten Verfahren.

In den vorliegenden Versuchen lag die Nachweisgrenze für Valium^R zwischen 0,4 und 0,1 mg pro Tag und Maus. Diese Werte stimmen mit den in der Tabelle 8 aufgeführten Versuchsarten gut überein. Es ist jedoch auf die unterschiedlichen Applikationsarten hinzuweisen, die die Vergleichbarkeit erschweren (s. Tab. 8).

Art des Versuchs	Wirkung	Dosis (mg/Maus)	Art der Verab- folgung
Abrutschen auf geneigter Fläche Fläche	ED 50	0,6	p.o. Einzelappli- kation
Kampflustbezhung	ED 50	0,3	p.o. Einzelappli- kation

Tab. 8: Bestimmung der Dosis-Wirkungs-Beziehung von Diazepam nach zwei unterschiedlichen Methoden. Die Angaben beziehen sich auf mus musc..

In Anlehnung an RANDALL (42).

In den drei Langzeitversuchen zur elektrischen Feldwirkung gaben weder die Gesamtmittelwerte noch die Motilitätsprofile einen Hinweis auf elektrische Wechselwirkung. Zwar wichen in den Motilitätsprofilen einige gemittelte Stundenwerte um mehr als ihre mittleren Fehler auseinander; da jedoch keine Hinweise auf systematische Fehler vorliegen und die beobachteten Abweichungen in den Kontrollversuchen ebenfalls auftraten, müssen sie als zufällig angesehen werden.*

Dieses negative Resultat findet durch zahlreiche Arbeiten Bestätigung. Nach REITER (47) kann die biologische Wirksamkeit elektrischer Felder "zwischen 50 und 120 Hz mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden, da hierzu umfangreiche Beobachtungen vorliegen". Nach Meinung des gleichen Autors ist der Kenntnisstand der biologischen Wertigkeit elektromagnetischer Strahlung in höherfrequenten Bereichen wesentlich schlechter (44). Dies hat eine besondere Bedeutung, da viele elektrische Einrichtungen elektromagnetische Energie breitbandig bis in den Bereich von ungefähr 100 kHz abstrahlen (44).

In den durchgeführten Versuchen erwies sich jedoch die elektrische Komponente eines sinusförmigen 10 kHz Feldes ebenso wirkungslos, wie die eines sinusförmigen 28 kHz Feldes.

In Folgeversuchen könnten breitbandige Energieverteilungen untersucht werden, die den tatsächlichen Verhältnissen in humanen Wohn- und Arbeitsbereichen mehr entsprächen.

Die Ergebnisse des 10 und 28 kHz Versuchs können zur hypothetischen Biotropie der Sferics nur eine Zusatz-Information liefern:

* Es ist darauf hinzuweisen, daß von 20 Zufallsergebnissen (in den Motilitätsprofilen: 24 Paaren von gemittelten Stundenwerten) wenigstens eines auf dem 5 %-Niveau als (zufällig) signifikant erwartet werden kann.

Es konnte gezeigt werden, daß elektrischen Feldern dieser beiden Frequenzen in bezug auf den Meßparameter keine biotropen Eigenschaften zukommen.

Magnetfelder von 50 Hz, 1 mT wurden in drei Langzeitversuchen appliziert. Die intrakollektive zeitliche Struktur der Motorik zeigte unter Feld- und Kontrollbedingungen in keinem der drei Versuche überzufällige Abweichungen und entsprach damit dem Ergebnis der Kontrollversuche. Die Gesamtmittelwerte waren unter Feldbedingungen konsistent um ca. + 5 % erhöht; dieser Unterschied war im t-Test nicht signifikant.

In der Versuchsserie 6 wurde die Feldstärke des 50 Hz Feldes auf 2,2 mT gesteigert. Wieder war die Gesamtaktivität unter Feldbedingungen um $\Delta\% = + 10\%$ erhöht. Die Gesamtmittelwerte unterschieden sich im t-Test signifikant ($p = 0,012$). Die Motilitätsprofile waren während der nächtlichen Aktivitätsphase über zehn aufeinanderfolgende Stunden getrennt. Der auf diese zehn Paare deskriptiv angewandte t-Test ergab jedoch nur für die 2° Uhr-Werte einen signifikanten Unterschied ($p = 0,04$).

Die Analyse des Ergebnisses des simultan durchgeführten Kontrollversuchs (VS6 K6) schränkt die Möglichkeit ein, daß es im Falle des 50 Hz, 2,2 mT Versuchs um eine an der Nachweisgrenze liegende Feldwirkung handelt: Im Kontrollversuch betrug der Gesamtmittelwertsunterschied $\Delta\% = + 14,4\%$ und war damit fast signifikant ($p=0,06$). Dies war der höchste Gesamtmittelwertsunterschied, der in sämtlichen Versuchen, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden, vorkam.

Zunächst kann diskutiert werden, ob der Kontrollkäfig durch

schwache Streufelder der Spule beeinflusst wurde und dadurch nicht als echter Kontrollversuch zu werten ist.

Einige Autoren, wie z.B. LUDWIG (36, 37) vermuten auch bei sehr schwachen Magnetfeldern bedeutende biologische Wirkungen.

Diese Möglichkeit wird auf Grund der vorliegenden Ergebnisse als gering angesehen. So betrug in VS 5 die Differenz der Gesamtmittelwerte im 50 Hz, 1 mT (1) Versuch $\Delta\% = + 3,9\%$. Im simultanen Kontrollversuch war $\Delta\%$ jedoch nur $+ 3,4\%$.

Folglich müssen andere Ursachen als das magnetische Streufeld für die Abweichung der Gesamtmittelwerte von $+ 14,4\%$ im Kontrollversuch verantwortlich gemacht werden.

Der Schluß liegt nahe, daß exogene (nich-magnetische) Faktoren, die gleichsinnig auf den Feld- UND den Kontrollversuch einwirkten, die Ursache für die hohen Differenzen in den Gesamtmittelwerten beider simultan gemessenen Tierkollektive waren.

Als zusätzliche exogene Wirkgrößen kommen Einflüsse von Wartungs- und Meßarbeiten an den Versuchsaufbauten in Betracht, die sich nicht völlig gleichmäßig auf die beeinflussten und unbeeinflussten Versuchsabschnitte verteilten. Es erscheint möglich, daß die Mehrarbeit von ca. 10 bis 15 Minuten an jedem der Feld-EIN-Tage doch einen verhältnismäßig großen Einfluß auf die Versuchstiere hatte.

Da die genannten systematischen Fehlereinflüsse im Falle des 50 Hz, 2,2 mT Feldversuchs (VS6 K2) unter besonderer Berücksichtigung des simultanen Kontrollversuchs (VS6 K6) nicht mit genügender Sicherheit auszuschließen sind, konnte bei der betrachteten Frequenz und Intensität kein methodisch einwandfreier Nachweis einer biologischen Feldwirkung erbracht werden.

Der 10 und 28 kHz Magnetfeldversuch ergab eine hohe Übereinstimmung der mittleren zeitlichen Strukturen unter Feld- und Kontrollbedingungen. Da sich auch die Gesamtmittelwerte nicht signifikant unterscheiden, erübrigt sich die Diskussion über eine mögliche Feldwirkung.

Zur Klärung der fraglichen biotropen Wirkung der Sferics tragen beide Versuche nur Teilergebnisse bei: Die genauere Bedeutung der Sferics, d.h. ihre Einordnung als Indikatorelement oder kausaler Faktor des atmosphärischen Geschehens, wird erst dann endgültig zu klären sein, wenn es gelingt, unter Laborbedingungen elektromagnetische Wellenzüge zu erzeugen, die den natürlichen Sferics besser entsprechen, als dies in den vorliegenden Versuchen der Fall war,

Es soll jedoch erwähnt werden, daß die applizierten sferic-ähnlichen Felder im Vergleich mit den natürlichen Sferics eine etwa 10^5 -mal größere elektrische Feldstärke aufwiesen; die magnetischen Komponenten der untersuchten 10 und 28 kHz Felder lagen sogar um neun Zehnerpotenzen über den natürlichen Verhältnissen. Bei diesen Abschätzungen wurden Angaben von KÖNIG et al. (26) zugrunde gelegt.

Das 50 Hz einweg-gleichgerichtete Magnetfeld (Halbwelle) führte in zwei Langzeitversuchen zu tendenziell entgegengesetzten Versuchsergebnissen. Dies spricht gegen den gelungenen Nachweis eines magnetischen Feldeinflusses. Vielmehr scheint es sich in beiden Versuchen um Zufallsergebnisse zu handeln. Das bedeutet, daß unter den gegebenen Versuchserbedingungen eine Wirkung des einweg-gleichgerichteten Magnetfeldes nicht nachgewiesen werden konnte.

ergebnissen. Dies spricht gegen den gelungenen Nachweis eines magnetischen Feldeinflusses. Vielmehr scheint es sich in beiden Versuchen um Zufallsergebnisse zu handeln. Das bedeutet, daß unter den gegebenen Versuchsbedingungen eine Wirkung des einweg-gleichgerichteten Magnetfeldes nicht nachgewiesen werden konnte.

Ogleich durch die experimentellen Ergebnisse dieser Arbeit in keinem der durchgeführten elektrischen oder magnetischen Feldversuche eine bioelektrische Wechselwirkung objektiviert werden konnte, erscheint es - besonders im Hinblick auf tierexperimentelle Untersuchungen mit positivem Resultat - nicht ausgeschlossen, daß es Effekte solcher Felder gibt.

In den durchgeführten Untersuchungen war die intrakollektive Variabilität der Versuchstiermotorik sehr groß. Der dadurch bedingte Versuchsfehler hat möglicherweise kleinere Effekte überdeckt, die selbst durch die relativ langen Beobachtungszeiten nicht herausgearbeitet werden konnten. Es ist möglich, daß dies mit einem verbesserten Versuchsdesign vielleicht gelingt.

5. Z U S A M M E N F A S S U N G

An Albinomäusen wurde in Langzeitversuchen geprüft, ob die getrennt applizierten elektrischen und magnetischen Komponenten sinusförmiger VLF- und ELF-Felder eine Wirkung auf den Meßparameter: Motorische Aktivität haben.

Die Motilitäts-Messungen wurden mit einem Aktographen ausgeführt, der vor dem Beginn der Versuche mit zufriedenstellendem Ergebnis einer Validitätsprüfung unterzogen wurde.

Die applizierten Einflußgrößen wurden in meist 24-tägigen Versuchen auf ihre biologische Wirkung geprüft.

Ausgewertet wurde nach Gesamtmittelwerten unter Kontroll- und Wirkbedingungen; zusätzlich konnten aus den stündlich registrierten Meßwerten gemittelte Tagesprofile der motorischen Aktivitäten in den beiden Zuständen errechnet werden, die nach den Kriterien: Form und Lage miteinander verglichen wurden.

Orientierende Vorversuche mit bekannten physikalischen und chemischen Einflußfaktoren führten zu den folgenden Ergebnissen:

- 1) Der Einfluß kleiner Temperaturdifferenzen von $\Delta t \leq 4^\circ \text{C}$ ergab in keinem der fünf Versuche einen nachweisbaren Effekt. Das Ergebnis wird auf eine thermische Unempfindlichkeit der Albinomaus im betrachteten Temperaturbereich zurückgeführt.
- 2) Es konnten für Diazepam signifikante Effekte in einem Dosisbereich nachgewiesen werden, in dem mit anderen Versuchsarten ebenfalls deutliche Wirkungen des Pharmakons belegbar sind.

Die Nachweisgrenze lag für die angewandte Methode zwischen 0,1 und 0,4 mg Diazepam pro Tag und Maus; die Aufnahme der Wirksubstanz erfolgte über das Trinkwasser.

Die Hauptversuche, in denen sinusförmige elektrische- und magnetische Felder untersucht wurden, führten zu folgenden Resultaten:

1) In den elektrischen Feldversuchen ergab sich kein Hinweis auf eine Veränderung der Motorik. Dies galt für Felder von:

50 Hz, 1500 V/m; 10 kHz, 40 V/m; 28 kHz, 40 V/m.

2) In den insgesamt acht Einzelversuchen zur biologischen Wirkung von Magnetfeldern konnte unter den bestehenden Versuchsbedingungen in keinem einzigen Falle der Nachweis einer Feldwirkung auf das motorische Verhalten von Albinomäusen geführt werden. Dies galt für die folgenden betrachteten Frequenzen und Intensitäten:

50 Hz, 1,0 mT (drei Einzelversuche); 50 Hz, 2,2 mT; 10 kHz, 0,15 mT; 28 kHz, 0,05 mT; 50 Hz Halbwelle (zwei Einzelversuche).

Ein möglicher Effekt im Falle des 50 Hz, 2,2 mT Versuchs muß als durch externe nicht magnetische Co-Faktoren erklärt werden, da der simultane Kontrollversuch ein ähnliches Ergebnis hatte.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1) ALTMANN, G.:

Der Einfluß statischer elektrischer Felder auf den Stoffwechsel der Insekten

Z. Bienenforschung 4, 199-201, 1959

2) ALTMANN, G. und LANG, S.:

Die Revieraufteilung bei weißen Mäusen unter natürlichen Bedingungen, im Faradayschen Raum und in künstlichen luftelektrischen Feldern

Z. Tierpsychol., 34, 334-337, 1974

3) ALTMANN, G. und WARNKE, U.:

Unspezifische analoge Reaktion von Mäusen auf starke elektrische Felder und elektrische Abschirmung

Z. f. Phys. Med. 3, 137-143, 1978

4) ASCHOFF, J. und MEYER-LOHMANN, J.:

Die 24-Stunden-Periodik von Nagern im natürlichen und künstlichen Belichtungswechsel

Z. Tierpsychol. 11, 476-484, 1954

5) ASCHOFF, J.:

Persönliche Mitteilung, 1984

- 6) BAUMER, H. und EICHMEIER, J.:

Relationship Between The Diffusion Time Of Ions In Gelatine Films And The Absolute Humidity In Free Air

Int. J. Biometeor. 23, 69-75, 1979

- 7) BAUMER, H. und EICHMEIER, J.:

Relationship Between The Pulse Rate Of Atmospherics And The Diffusion Time Of Ions In Gelatine Films

Int. J. Biometeor. 24,3 271-276, 1980

- 8) BAUMER, H. und EICHMEIER, J.:

Eine Anlage zur Registrierung der Atmospherics bei 10 und 27 kHz

Arch. Met. Geoph. Biokl. , Ser. A, 29, 143-155, 1980

- 9) BAUMER, H. und EICHMEIER, J.:

The Effect of 10 and 27 kHz Atmospherics on the Diffusion of Ions in Gelatine Membrans

Biometeorology 8 Part 1. 9th International Congress of

Biometeorology in Osnabrück. Swetz & Zeitlinger B.V., Lisse 1981

- 10) BAUMER, H. und EICHMEIER, J.:

Relationship Between the Atmospherics Pulse Rate in the 10 and 27 kHz Range, Air Mass Movement and the Diffusion Time of Ions in Gelatine Films

Int. J. Biometeor. 25,3 363-368, 1981

- 11) BAUMER, H. und EICHMEIER, J.:

Das natürliche elektromagnetische Impulsfrequenzspektrum
der Atmosphäre

Arch.Met.Geoph.Biokl., Ser.A, 31, 249-261, 1982

- 12) BAUMER, H.:

Die Meteorotropie eines Dichromat - Gelatinesystems

Techn. Informationsdienst des Bundesverbandes Druck E.V., 1982

- 13) BREZOWSKY, H.:

Meteorologische und biologische Analysen nach der Tölzer
Arbeitsmethode

Meteor.Rundschau 1, 132-143, 1965

- 14) de RUDDER, B.:

Grundriß einer Meteorobiologie des Menschen

3. Auflage Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1952

- 15) DIRNAGL, K.:

Wettereinflüsse auf den Menschen - therapeutische Konsequenzen

Die Heilkunst 87,8, 1-5, 1974

- 16) DIRNAGL, K.:

Vergleiche zwischen individuellen und kollektiven Befindens-
schwankungen und deren Beziehung zu Wettervorgängen

Kongreßvortrag "Biometeorologia", Ancona, Sept. 1976

17) DIRNAGL, K.:

Neuere Untersuchungsergebnisse zur Beeinflussung des menschlichen Befindens durch das Wetter

Therapiewoche 27, 858-870, 1977

18) DIRNAGL, K.:

Persönliche Mitteilung auf dem Treffen des Arbeitskreises "Humanbiometeorologie" in Freiburg am 12. und 13.1.1984

19) ELSSER, R.:

Über den Einfluß künstlicher Ionisation der Luft auf das motorische Verhalten von Labormäusen

Diss. am IMBK der LMU-München, 1977

20) E P R I REPORT:

Biologic Effects of high Voltage electric fields

E P R I - E A 1123, Project 857, Find Report

Electric Power Research Institute, Paolo Alto, USA, 1979

21) IMMELMANN, K.:

Einführung in die Verhaltensforschung

Verlag Paul Parey; Berlin, Hamburg (2.Auflage)

22) JACOBI, E. und KRÜSKEMPER, G.:

Der Einfluß simultierter Sferics (wetterbedingte, elektromagnetische Strahlung) auf die Thrombozytenadhäsivität

Inn.Med. 2, 73-81, 1975

- 23) JACOBI, E. und KRÜSKEMPER, G.:

Zur Beeinflussung von Thrombozytenfunktionen

Fortschr.d.Med., 7, 279-283, 1979

- 24) JACOBI, E.:

Platlet Adhesiveness and Cancer Cell Stickiness

Pflügers Arch. 361, 65-68, 1979

- 25) Zitat aus:

KAMMERER, P.:

Allgemeine Biologie

Deutsche Verlagsanstalt Stuttgart, Berlin und Leipzig 5, 45, 1925

- 26) KÖNIG, H.L., KRUEGER, A.P., LANG, S. and SÖNNING, W.:

Biologic Effects of Environmental Electromagnetism

Springer-Verlag New York, Heidelberg, Berlin 1981

- 27) KRÖLING, P., DIRNAGL, K. und PRAML, G.:

Das Motilitätsprofil von Mäusen als Indikator für schwache physikalische und chemische Effekte. Eine automatische Methode für Langzeituntersuchungen

Forschungsbericht aus den Inst.f.Med. Balneologie und Klimatologie der Universität München, 1975

- 28) KRÖLING, P.:

Über die Beeinflussung von Mäusen durch künstliche Luftionisation

Z. f. Phys.Med., 2, 74, 1976

29) KRÖLING, P.:

Über die Beeinflussung der Motilität von Mäusen durch Gleichspannungs- und 10 Hz Rechteckimpulsfelder

Z. f. Phys. Med. 2, 81, 1976

30) KRÖLING, P.:

Modellversuche zu elektrischen Komponenten des Klimas

Z. f. angew. Bäder- und Klimaheilkunde 24, 137-141, 1977

31) KRÖLING, P.:

Haben Luftelektrische Umweltfaktoren biologische Bedeutung?

Lufttechn. Informationen, Heft 18, 18-19, 1977

32) KRÖLING, P.:

Persönliche Mitteilung, 1984

33) KRÖLING, P. und MEYER, G.:

Zur sogenannten "Elektroklimateisierung" durch künstliche Gleich- und Wechselfelder

Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim. 11, 410-420, 1982

34) LANG, S.:

Änderungen des Wasser- und Elektrolythaushaltes bei weißen Mäusen unter Einfluß von Faraday-Bedingungen und eines Rechteckimpulsfeldes der Frequenz 10 Hz

Verh. Dtsch. Zool. Ges. Helgoland, 1971

35) LINKE, F.:

Zur Physiologie des künstlichen Klimas

Der Balneologe 6, 241-249, 1939

36) LUDWIG, H.W.:

Biologische Verträglichkeit elektromagnetischer Felder

Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke, 1977

37) EHRMANN, W., LEITNER, v.H., LUDWIG, W., PERSINGER, H.A.,
SODTKE, W. und THOMAS, R.:

Erprobung eines elektromedizinischen Taschengengerätes

Wetter-Boden-Mensch 12, 880, 1978

38) MEYER, G.:

Der Einfluß einer Elektro-Klima-Anlage auf das Wohlbefinden
von Personal in Großraumbüros

Diss. IMBK, 1982

39) MÖSE, J.R. und FISCHER, G.:

Das elektrostatische Feld als Klimafaktor?

Wiener Med. Wochenschrift 1-3, 30, 1975

40) MÖSE, J.R. et al.:

Immunbiologische Reaktion im elektrostatischen Gleichfeld
und Faraday-Käfig

Z. Immunitätsforschung Exp. Klim. Immunol. 145, 404-412, 1973

- 41) FRAML G.J. und EICHMEIER, J.:

Anlage zur prozessorunterstützten Registrierung der Motilität
von Versuchstieren

Biomed. Technik 23, 384-387, 1978

- 42) RANDALL; L.O. et al.:

Pharmacological And Clinical Studies On Valium - A New
Psychotherapeutic Agent Of The Benzodiazepine Class
Curr. Ther. Res. 3, 9, 405-425, 1961

- 43) REITER, R.:

Meteorobiologie und Elektrizität der Atmosphäre
Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1960

- 44) REITER, R.:

Elektr. Felder verschiedener Art im Inneren von Gebäuden
unterschiedlicher Bauart und Benutzung mit Konsequenzen
insbesondere für die Durchführung von Versuchen an bio-
logischen Objekten

Beitr. zur Ersten-Hilfe und Behandlung von Unfällen durch
elektrischen Strom Heft 10, 224-257, 1981

- 45) REITER, R.:

Feldstärken und Frequenzspektrum elektrischer Wechselfelder
in Gebäuden verschiedener Art und Nutzung. Ein Beitrag zum
Problem "Elektrisches Raumklima", Teil II. Kurzbericht zum
Vertrag BI 5-800175-17, 1981

46) REITER, R.:

Ergebnisbericht, Forschungsvorhaben "Luftelektrisches Raumklima" Bericht an das Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 1978

47) REITER, R.:

Zur Möglichkeit biologischer Wirkungen elektrischer und elektromagnetischer Felder, Ionen und Aerosolen
promet 3/4, 1982

48) RUHENSTROTH - BAUER, G. et al.:

Epilepsy and weather: a significant correlation between the onset of epileptic seizures and specific atmospherics - a pilot study
Im Druck: Int. J. Biometeor.

49) SCHAEFER, H.:

Über die Wirkung elektrischer Felder auf den Menschen
Springer Verlag 1983

50) SHEPPARD, A.R. und EISENBUD, M.:

Biological Effects of Electric and Magnetic Fields of Extremely Low Frequency, New York, 1977

51) STEVENSON, J.A.F. und RIXON, R.H.:

Environmental Temperature And Deprivation Of Food And Water On The Spontaneous Activity Of Rats
Yale Journal Of Biology And Medicine Vol. 29, 575-584, 1957

52) TIMMERMANN, D.:

Verhaltensphysiologische Untersuchungen zum Einfluß von
Valtrat auf das Lernverhalten eines Mäusestammes
Diplomarbeit im FB Biologie, Philipps-Universität Marburg, 1983

53) UNGEHEUER, H.:

Über eine Methode zur kontinuierlichen Erfassung der biolo-
gischen Wetterwirkung.
Fortschr. Med. 69, 21-22, 1951

54) WICKE, A.:

Kontinuierlicher Monitor zur getrennten Erfassung von
Radon- und Thoron-Zerfallprodukten in der Raumluft
GSF-Bericht A4/1983, ISSN 0721-1694

55) WICKE, A.:

Radon Survey Program in German Houses
Proceedings of the VIth World Congress on Air Quality,
Vol.4, p.81-86, 16.-20. May 1983, Paris

56) WEVER, R.:

Einfluß schwacher elektromagnetischer Felder auf die circa-
diane Periodik des Menschen
Naturwissenschaften 55, 1, 29-32, 1968

57) WEVER, R.:

Biologische Wirkungen elektrischer, magnetischer und elektro-
magnetischer Felder
Expert Verlag 7031 Grafenau, 1983

Nachbemerkungen und Danksagungen

Herrn Prof.Dr.med. H.Drexel (1) gilt mein Dank für die Überlassung des interessanten Themas und für die Möglichkeit, mich an seinem Institut in einige grundlegende Fragen der Klimatologie einzuarbeiten.

Herrn Dipl.-Phys. K.Dirnagl (1), leitender akademischer Dir.i.R., danke ich besonders für die Bereitstellung der Rechenprogramme zur numerischen und analytischen Statistik und die Bereitschaft zu wertvoller Anregung und Kritik bei der gesamten Durchführung des Projektes.

Ebenso danke ich Herrn Dr.med. P.Kröling (1) für die Anregung zu dieser Arbeit, die Teil seiner tierexperimentellen Studien zur Erforschung der biologischen Bedeutung verschiedener luft-elektrischer Faktoren ist. Es war für mich von größtem Vorteil, stets auf seine langjährige Erfahrung mit Problematik und Methodik zurückgreifen zu können.

Herr Dipl.-Phys. G.Gall (2) half besonders in der Anfangsphase bei der Konzeption und Berechnung der felderzeugenden Apparaturen.

Herrn Prof. G.Selbmann (3) bin ich für seine Geduld bei den statistischen Beratungen zu Dank verpflichtet.

Meine Freunde Dipl.-Phys. J.Böhm und Dipl.-Ing. H.Kröger steuerten der Arbeit manch nützliche Idee bei.

Die technische Entwicklungsarbeit und Realisation des Aktographen wurde von Herrn Dipl.-Ing. G.Praml (4) unter Anleitung von Herrn Prof. J.Eichmeier (5) geleistet.

Zahlreiche meßtechnische und elektronische Probleme wurden durch Herrn Zuckriegel (2), die mechanischen durch Herrn A.Taferner (1) gelöst. Herr W.Brummer übernahm die umfangreichen phototechnischen Arbeiten.

Allen Mitarbeitern des Instituts, die in irgendeiner Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, sei herzlich gedankt.

- (1) Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU)
- (2) Klinik für Physikalische Medizin im Klinikum Großhadern der LMU
- (3) Institut für Medizinische Informationsverarbeitung, Statistik und Biomathematik der LMU
- (4) Institut für Arbeitsmedizin der LMU
- (5) Institut für Technische Elektronik der Technischen Universität München

L E B E N S L A U F

Thomas Gerd Rudolf LINTZEN

Geburtsdatum: 3. September 1953

Geburtsort: Aachen (NRW)

Vater: Gottfried Lintzen, Dipl.-Ing.

Mutter: Elisabeth Lintzen, geb. Franke

Grundschule: 1960 - 1964
Grundschule Herzogenrath-Mitte

Gymnasium: 1964 - 1973
Städtisches Gymnasium Herzogenrath

Abitur: 24. Mai 1973

Studium: WS 1973 - SS 1974
Studium der Architektur an der
Technischen Universität Braunschweig
SS 1977 - SS 1980
Studium der Humanmedizin an der Rheinischen
Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
WS 1980 - WS 1985
Studium der Humanmedizin an der Ludwig-Maxi-
milians-Universität München
Ärztliche Vorprüfung : 25. August 1978
1. Teil d. ärztl. Prüfung: 30. August 1979
2. Teil d. ärztl. Prüfung: 21. August 1981
1. Tertial des Praktischen Jahres:
Dezember 1981 - Februar 1982
Neurologische Klinik im Klinikum Großhadern
der LMU München (Direktor: Prof. Dr. A. Schrader)

2. Tertial des Praktischen Jahres

März 1982 - Februar 1982

Medizinische Klinik Innenstadt der LMU

München (Direktor: Prof. Dr. E. Buchborn)

3. Tertial des Praktischen Jahres

Neurochirurgische Klinik im Klinikum Großhadern
der LMU München (Direktor: Prof. Dr. F. Marguth)

Chirurgische Klinik im Klinikum Großhadern
der LMU München (Direktor: Prof. Dr. G. Heberer)

3. Teil der ärztl. Prüfung: 5. Oktober 1982

Approbation: 15. November 1982

Oktober 1982 - März 1983: Sektions-Coassistent an der Anatomischen
Anstalt der LMU München (Vorstand: Prof. Dr. H. Frick)

Januar 1983 - Februar 1983: Wissenschaftliche Hilfskraft an der
Klinik für Physikalische Medizin (Vorstand: Prof. Dr. H. Drexel)

März 1983 - Dezember 1983: Verwalter der Dienstgeschäfte eines wis-
senschaftlichen Assistenten an der Klinik für Physikalische Medi-
zin der LMU München (Vorstand: Prof. Dr. H. Drexel)

